CONTENTS OF NO. 20

(In Japanese with English summary except * in English)

TANAKA, S.
A mathematical consideration of the effect of mortality and growth on a fish population ..... (1)

DOI, T.
Dynamical treatment of exploitation of aquatic resources—III. Migration of the Pacific saury *Cololabis saira* (BREVOORT) ..... (13)

*HIRANO, T.
The oceanographic study on the subarctic region of the Northwestern Pacific Ocean—III. On general condition of the sea in spring and summer ..... (23)

*TAKEMURA, Y. and OKUTANI, T.
On the identification of species of *Pinctada* found attached to *Pinctada maxima* (JAMESON) in the Arafura Sea ..... (47)

KANEDA, T. and ISHII, S.
Improvement of boiled and dried products from oily anchovy ..... (61)

*MATSUMOTO, J. J.
Some aspects on the water-soluble proteins of squid muscle ..... (65)

TANAKA, T.
Histological and histochemical study of processing the squid meat—I. Histologioal properties of squid meat ..... (77)

Published Quarterly by

TOKAI REGIONAL FISHERIES RESEARCH LABORATORY

TSUKISHIMA, CHUO-KU, TOKYO

JAPAN

本報告略号
—東海水研報—

Abbreviation of this bulletin
—Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.—

昭和 33 年 5 月 25 日 印刷
昭和 33 年 5 月 31 日 発行

発行所 水産庁東海区水産研究所
東京都中央区月島 3 号地

発行者 源生一太郎
東京都中央区月島 3 号地

印刷者 田中忠雄
東京都中央区新富町 3 の 6

印刷所 日本応用印刷株式会社
東京都中央区新富町 3 の 6
電話築地 (55) 7191～5

魚の資源における死亡と成長の作用についての数理的考察*

田　中　昌　一

I. はしがき

BEVERTON (1953)[3] は，BARANOV (1918)[1] 以来の理論を発展させて，いろいろ新しい考え方を示した。この理論は適用範囲が広い有用なものであるが，いちいち計算することは，それほど簡単なことではない。それで，BEVERTON の式を数表にしておけば，実際の計算にあたつて大いに便利であると考える。そこでまず，死亡量や成長量をあらわす函数を定義し，これ等の函数の数値を求めるのに都合のよい，簡単な数表をこしらえることとした。

数表ができあがると，今度は逆に，これ等の函数の性質をしらべることによつて，魚の資源の内部で作用し合つている諸力の関係を見，漁業の管理についての考え方を，裏側からのぞくことができるようになる。

たとえば，TANAKA (1957)[8] が先に BARANOV のモデルに基づいて示した，資源量と自然増加量との関係で，密度効果を考えに入れなくても，Logistic 類似の中高の曲線が得られることは，しごくあたりまえの事ではあるが，又一見不思議に見えない事もない。あのような形の曲線の得られる理由が，ここに定義された函数の性質の中から，具体的に説明されるわけである。

本文の末尾につけられた函数表は，本研究所の田中千代子技官によつて計算されたものである。ここに深く感謝の意を表明する次第である。

II. 死亡量函数と成長量函数

BEVERTON の用いた模型は次のようなものである。魚の年令を x であらわす時，漁獲係数 F_x を，トロール網の選択曲線をもとにして，

$$\left.\begin{aligned} F_x &= 0 && x < x_c \\ F_x &= F\ (\text{constant}) && x \geqq x_c \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

とおく。自然死亡係数 M は，全年令を通じて一定とする。又 x_d に達した魚はすべて死ぬ。魚は年令 x_r で漁獲可能の状態となり，その加入群の尾数は R である。したがつて，一般に年令 x の魚の尾数は

$$N_x = Re^{-M(x_c-x_r)}e^{-(F+M)(x-x_c)} \qquad (2)$$

となる。

魚の成長曲線としては，いろいろな型が考えられるが，BEVERTON は，BERTALANFFY (1938)[2] が成長の生理から出発して得た式をかきなおして，

$$w_x = w_\infty(1-e^{-K(x-x_0)})^3 \qquad (3)$$

を用いている。この式を立方に開くと，

$$w_x^{1/3} = w_\infty^{1/3}(1-e^{-K(x-x_0)})$$

となるので，WALFORD (1946)[11] にしたがつて，定差図により，容易に $w_\infty^{1/3}$ 及び K の数値が

* 1958年5月8日受理　東海区水産研究所業績 A 第69号。

求められる。この式は，数学的取扱が直線の場合より簡単であり，しかも大部分の魚の成長をよくあらわしているので，すぐれている。

さて，RUSSELL (1931)[6] の方程式を次のようにあらわそう。

$$\frac{dP}{dt}=A+G-D-Y \tag{4}$$

ここで，A は加入量，G が成長量，D は自然死亡量，Y が漁獲量である。D はさらに，x_c から x_d までの間に死ぬもの D_1 と，x_d に達して死ぬもの D_2 の二つの部分にわけられる。したがつて，(4) 式は

$$\frac{dP}{dt}=A+G-(Y+D_1)-D_2 \tag{4'}$$

とあらわされる。これ等の要素を，BEVERTON のモデルに従つて数式で表現すると次のようになる。

$$A=w_cRe^{-M(x_c-x_r)}=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot(1-e^{-K(x_c-x_0)})^3 \tag{5}$$

$$G=\int_{x_c}^{x_d}\frac{dw}{dx}Ndx=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot 3K\int_{x_c}^{x_d}e^{-K(x-x_0)}(1-e^{-K(x-x_0)})^2e^{-(F+M)(x-x_c)}dx \tag{6}$$

$$\begin{aligned}Y+D_1&=\int_{x_c}^{x_d}(F+M)\,wNdx\\&=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot(F+M)\int_{x_c}^{x_d}(1-e^{-K(x-x_0)})^3e^{-(F+M)(x-x_c)}dx\end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}D_2&=w_dRe^{-M(x_c-x_r)}e^{-(F+M)(x_d-x_c)}\\&=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot(1-e^{-K(x_d-x_0)})^3e^{-(F+M)(x_d-x_c)}\end{aligned} \tag{8}$$

これ等の式の積分を実行する前に，数学的操作の便のために，x を変換して

$$\xi=K(x-x_0) \tag{9}$$

とおく。これは，BERTALANFFY の式で，$x=x_0$ 即ち体長が 0 である年令を基点として，体長が極限体長 l_∞ の 0.6321 になるまでの時間を単位にして年令をはかるということを意味している。x を ξ に変換することにともなつて，諸減少係数は

$$F'=F/K,\quad M'=M/K,\quad Z'=Z/K=(F+M)/K \tag{10}$$

に変換される。こうすると，

$$Y+D_1=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot Z'e^{Z'\xi_c}\int_{\xi_c}^{\xi_d}(1-e^{-\xi})^3e^{-Z'\xi}d\xi \tag{11}$$

とあらわされる。この式中の積分で，上限を ∞ までのばして考えると，

$$\int_{\xi}^{\infty}(1-e^{-\xi})^3e^{-Z'\xi}d\xi=\frac{e^{-Z'\xi}}{Z'}\left(1-\frac{3Z'}{1+Z'}e^{-\xi}+\frac{3Z'}{2+Z'}e^{-2\xi}-\frac{Z'}{3+Z'}e^{-3\xi}\right) \tag{12}$$

となる。ここで

$$D_0(\xi,\ Z')\equiv\left(1-\frac{3Z'}{1+Z'}e^{-\xi}+\frac{3Z'}{2+Z'}e^{-2\xi}-\frac{Z'}{3+Z'}e^{-3\xi}\right) \tag{13}$$

とおく。この函数を用いると，(11) は

$$Y+D_1=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot\{D_0(\xi_c,\ Z')-e^{-Z'(\xi_d-\xi_c)}D_0(\xi_d,\ Z')\} \tag{14}$$

となる。又

$$D(\xi_c,\ \xi_d\,;\ Z')\equiv D_0(\xi_c,\ Z')-e^{-Z'(\xi_d-\xi_c)}D_0(\xi_d,\ Z') \tag{15}$$

と定義して，

$$Y+D_1=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot D(\xi_c,\ \xi_d\,;\ Z') \tag{16}$$

となる。この式のうち，$w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}$ はすべての要素に共通の常数である。したがつて，$D(\xi_c, \xi_d; Z')$ を死亡量函数とよぶのが適当であると考える。$D_0(\xi, Z')$ の数値を別表に示した。

全死亡を漁獲と自然死亡に分離するには，$Y+D_1$ に F/Z 又は M/Z をかけてやればよい。

都合のよい事に，A や D_2 も $D_0(\xi, Z')$ であらわすことができる。即ち

$$D_0(\xi, \infty)=(1-3e^{-\xi}+3e^{-2\xi}-e^{-3\xi})=(1-e^{-\xi})^3 \tag{17}$$

であるから，

$$A=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot D_0(\xi_c, \infty) \tag{18}$$

及び

$$D_2=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot e^{-Z'(\xi_d-\xi_c)}D_0(\xi_d, \infty) \tag{19}$$

となる。最後にのこつた成長量については，勿論 (6) 式を積分してもよいが，定常状態においては (4) 式が 0 に等しい事を利用すれば，

$$G=Y+D-A=Y+D_1+D_2-A \tag{20}$$

となるので，(14)，(18)，(19) より

$$G=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot\{(D_0(\xi_c, Z')-D_0(\xi_c, \infty)-e^{-Z'(\xi_d-\xi_c)}(D_0(\xi_d, Z')-D_0(\xi_d, \infty))\} \tag{21}$$

となる。ここで

$$G_0(\xi, Z')\equiv D_0(\xi, Z')-D_0(\xi, \infty) \tag{22}$$

とおき，

$$\begin{aligned} G(\xi_c, \xi_d; Z')&\equiv 3e^{Z'\xi_c}\int_{\xi_c}^{\xi_d}(1-e^{-\xi})^2e^{-(1+Z')\xi}d\xi \\ &=G_0(\xi_c, Z')-e^{-Z'(\xi_d-\xi_c)}G_0(\xi_d, Z') \end{aligned} \tag{23}$$

とあらわすと，

$$G=w_\infty Re^{-M(x_c-x_r)}\cdot G(\xi_c, \xi_d; Z') \tag{24}$$

となる。(23) で定義される函数を成長量函数とよぶことにする。

III. 函数の性質と資源成長の法則

前節で定義された函数の性質をしらべることは，即ち魚の資源量の増加，減少についての内部的な関係をあきらかにすることであつて，興味深いことである。以下に，三つの典型的な場合を例として考えてみよう。三つの場合とは，ほとんどあらゆる体長のものが利用されている場合，大型魚のみ及び小型魚のみが利用されている場合である。* Table 1 にそれぞれのデータをまとめて示してある。

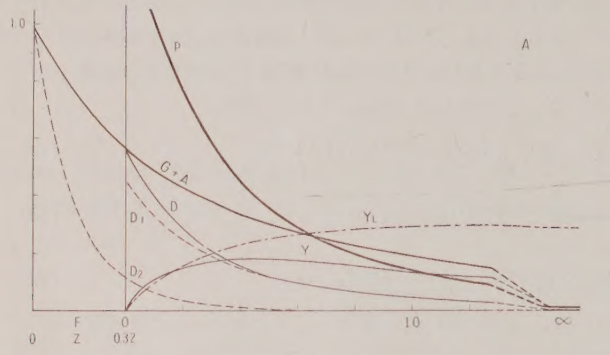
第 1 表　計算例に用いたデータ[7,9]

Table 1. Data for three examples illustrated in the figures.

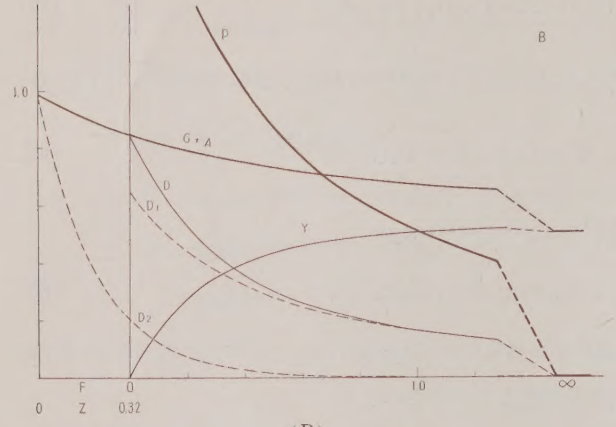
魚種 Species	l_∞ cm.	K	x_c 年 year	x_d 年 year	ξ_c	ξ_d	$\frac{w_c}{w_\infty}$	$\frac{w_d}{w_\infty}$	M	M'
マイワシ sardine	22	0.8	0.25	7.0	0.2	5.6	0.006	0.989	0.32	0.4
マイワシ（大羽） sardine (large)	—	—	2.0	7.0	1.6	5.6	0.508	0.989	—	—
キダイ porgy	63	0.1	1.0	6.0	0.1	0.6	0.009	0.092	0.2	2.0

自然死亡係数 M は適当に与えられたものである。
Values of natural mortality are arbitrarily given to either species.

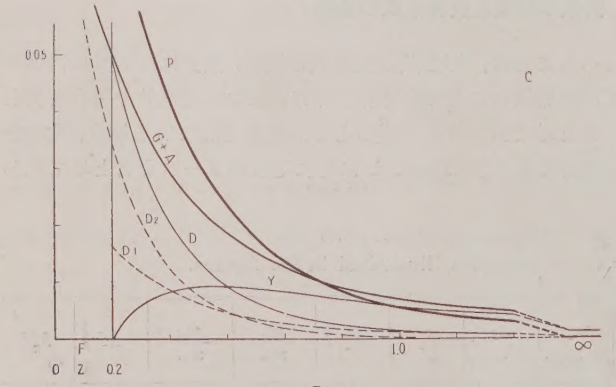
* ここでいう大型，小型とは，w_∞ に比較してのことであつて，実際の感じとは必ずしも一致しない。



(A)



(B)



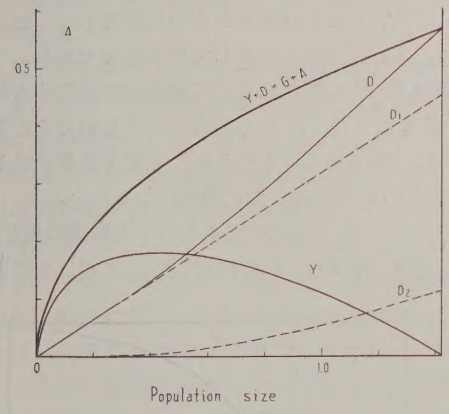
(C)

第 1 図　Russell の方程式の各項の値。漁獲係数 F に対して示す。すべて常数は省略してある。(A),(B),(C) はそれぞれ，第1表のマイワシ，マイワシ(大羽)，キダイに対応している。A図中の Y_L は，(B) の Y を比較のためにA図の尺度で示したものである。

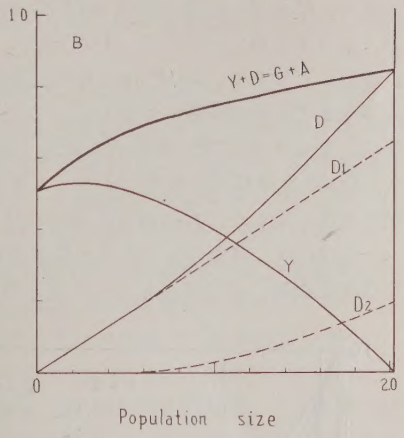
Fig. 1. Values of each term of Russell's equation and population size illustrated against fishing coefficient F. Constant is omitted for all quantities. (A), (B) and (C) are pertinent to sardine, sardine (large) and porgy in Table 1, respectively. Y_L in (A) is the same with Y in (B) but drawn to scale of (A) considering omitted constant for comparison.

いろいろな量を，漁獲係数 F の函数として示すと Fig. 1 のようになる。量的差をのぞいて，三つの場合とも同じ傾向を示している。F がふえると，年令 x_c から x_d までの資源量 P は急激に減少し，又 D_1, D_2 も急に減少する。$G+A$ も減少するが，P や D_1, D_2 にくらべるとゆるやかである。ここでは，A を一定とおいているから，G の変化は全く $G+A$ の変化と平行である。Y についての曲線は，Baranov や Beverton 等にも示されているありふれたものである。最初急に上昇し，のちしだいに平らになつて，ある点で極大に達し，その後減少をはじめる。ただし，x_c, M の値によつては，極大を示さなくなることもある。

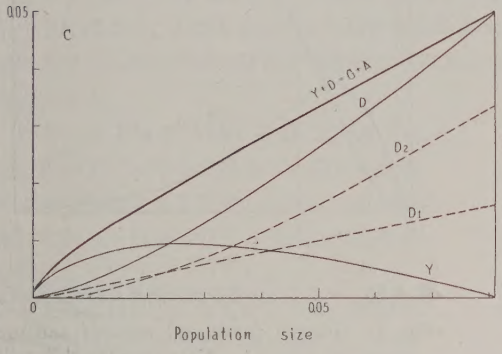
横軸を，F のかわりに P として画くと，Fig. 2 のようになる。$G+A$ (G のみについても同様であるが) は，最初急に，のち次第にゆるやかになる増加傾向を示す。一方自然死亡の方は，D_1 は直線的に，D_2 は加速度的に増加を示すので，全体の D も加速度的増加を示す。したがつて，D はおそかれはやかれ $G+A$ に等しくなる。ここが最大資源量に対応する点である。増加の項 $G+A$ から自然死亡 D を差引いた残りは，自然増加量，或は年余剰とよばれるものであつて，定常状態では即ち漁獲量 Y である。Tanaka (1957) が示した曲線がこれに当る。Y は一般に，ある資源量の水準で最高を示す。三つの場合ともこの傾向は変らない。しかし，マイワシ大羽については，x_c 又



(A)



(B)



(C)

第 2 図　資源量 P に対して示した Russell の方程式の各項の値。(A), (B), (C)は第 1 図に同じ。

Fig. 2. Values of each term of Russell's equation illustrated against population size P. (A), (B) and (C) are pertinent to the same fishes as in Fig. 1.

は M をもう少し大きくすると，Y の極大は消失して，$P=0$ の点で最大を与えるようになる。

P と Y との関係が，形こそちがえ，Logistic 曲線の場合に類似していることは，前にも述べた通り，興味深いことである。Logistic 曲線の場合についてその理窟を考えると

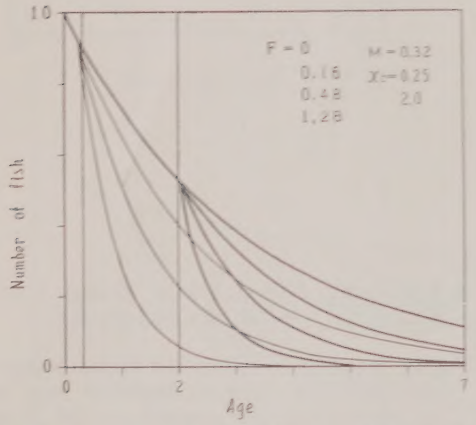
$$\frac{dP}{dt}=\alpha P-\beta P^2 \tag{25}$$

の式からもわかるように，資源が潜在的にもつている最大増加率が，密度の圧力のためにさえぎられて，βP だけ少なくなるということである。この式から，自然増加として中央に極大をもつ抛物線型を得る。

これに対して，Fig. 2 又は Tanaka (1957) の Fig. 1 に示されたような P と Y との関係は複雑であり，又その機構については全く異なつた説明がなされる。問題は増加量 $G+A$ と自然死亡量 D のバランスにある。先にのべたように，D は P の増加に対して加速度的に増大するが，一方 $G+A$ の方は，増大速度が P の増加とともに減少する。したがつて，P が小さい間は G の増大の効果が主としてきくが，P が大きくなると自然死亡の増大が G の効果を減殺し，極大点を過ぎてからは自然増加が減少するようになる。そしてある P の段階では，すべての増加量 $G+A$ が自然死亡を補償して，ふくれあがつた資源量を維持するためにのみ消費されて，余剰を生ずる余裕の全くない状態となる。このために，人間による間引が全く行われなくても，魚の資源は無制限に増大することができない。

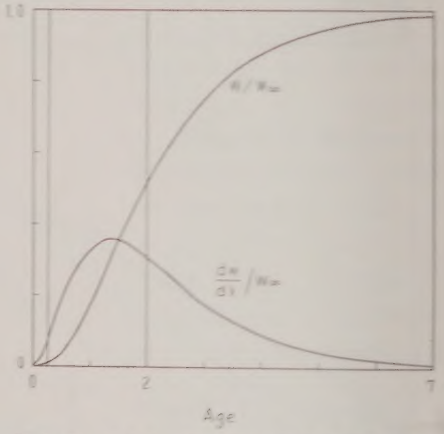
さて，P と Y との関係が，$G+A$ や D の曲線の形に依存しているわけであるが，この事についてもう少し考えてみよう。D のうち，D_1 が P に比例することは最初からの仮定であり，理由のあることである。D_1/P は自然死亡係数 M である。D_2 は寿命を全うして死ぬものであり，その年令まで生残る尾数に比例している。そして，漁獲係数 F の変化によって資源量が変化する場合に，最も大きな変化率を示すのが，漁業の影響を最も長くうけた この最高年令のものであるから，D_2 の量は資源の変化によつて大きく変化するのは当然である。もつとも，全減少係数がある程度大きくなるか，或は寿命が適当に長い場合は D_2 そのものがほとんど問題にならない。

一方 G は，資源の年令組成と成長曲線に関連している。Z の変化にともなう年令組成の変化，及び成長曲線，成長速度を，マイワシの例について，Fig. 3, Fig. 4 に図示した。この二つの図



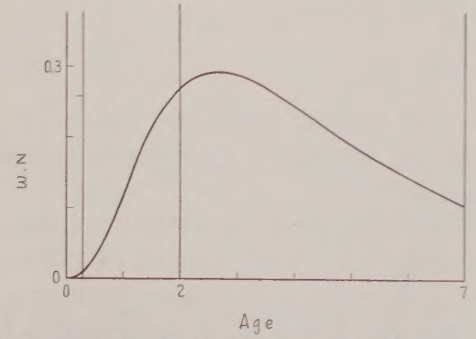
第 3 図　いろいろな漁獲係数及び最小漁獲年令に対して示した魚の数の生残曲線(マイワシのデータによる。)

Fig. 3. Number of sardine and sardine (large) surviving as function of age for various fishing coefficients on the basis of the data in Table 1.



第 4 図　マイワシ体重の成長曲線及び成長速度。

Fig. 4. Growth curve and rate of sardine based on Table 1. Note that the greatest growth takes place in young fish.



第 5 図　漁獲の行われない時のマイワシのある年級群の生体量の変化。

Fig. 5. Change in biomass of a year class during its life when no fish is caught. Note a point presenting maximum biomass. If we do not take consideration of reproduction, fish that exceeds the point is left unproductive. (From the same data as in Figs. 3 and 4).

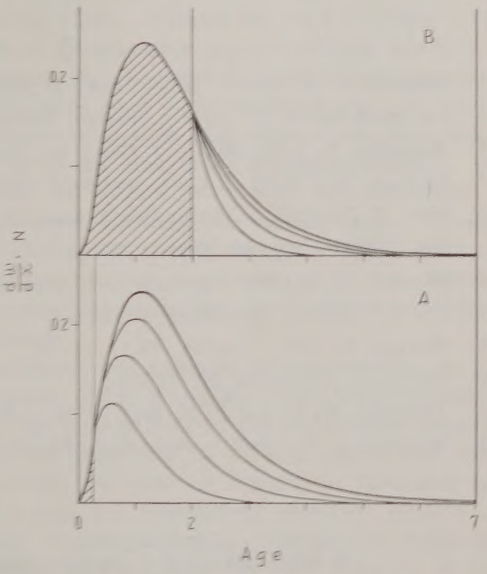
から MwN として自然死亡 D_1 を，$\frac{dw}{dx}N$ として成長量を得る。これ等の図でみると，F が小さくなつた時の資源尾数の増大は高年魚で大きい。そして，Mw も高年魚で高くなる。これに対して $\frac{dw}{dx}$ は若年群に高く，高年群で低い。そのために，資源量の増大にともない，これに比例して或はそれ以上に増大する自然死亡は，成長量の増大ではおぎなえない。この関係は Fig. 5 で一そうはつきりする。この図は，漁業がない時に，成長によつて個体重量をまし，一方自然死亡によつて尾数を減少させながら，ある一つの年級群がその一生の間にたどる生体量の変化を示したものである。若いうちは $\frac{dw}{dx}$ が Mw より大きいためにその量を増し，生体量の蓄積が行

われるが，ある年令で増加と減少がバランスするようになり，それ以上の年令になると，成長がほとんどとまつてしまうので，生体量は縮少を続ける。その意味で極大点を過ぎた高令魚は全く消費的である。*

以上の論議から，P と Y との関係は，本質的には成長曲線の形に依存しているということができる。即ち，高令になるほど体重そのものは増加するが，成長速度や成長率 $\frac{dw}{dx}/w$ が小さくなることの結果として，すでに示したような P と Y との関係が得られたのである。成長曲線が BERTALANFFY の曲線以外のどんな形をとるにしても，少なくとも高年での成長率が若年魚のそれを下まわらないようなものでないかぎり，おそかれはやかれ，成長量と自然死亡量がバランスする時がやつてくる。バランスすることのない成長曲線の一つの例は，指数函数的成長である。その場合には，GRAHAM (1935)[4] が THOMPSON and BELL (1934)[10] を批判した中でのべているように，ややもすると資源は安定を失なつて，消滅するか，さもなければ海中にあふれてしまう。

成長曲線が S 字状になることの理由は，BERTALANFFY の微分方程式からあきらかである。これをさらに個体群全体として考えると，負の項に魚の死亡による影響が加えられる。そのような式では，個体群としての減少の項は，とにかくその生体量に比例している。この項にくらべて，相対的に正の項即ち同化作用の項を大きくさせるには，個体群を構成する個体の大きさをなるべく小さくすればよい。しかし，このような調節を漁業を通じて行う時，ややもすると生体量そのものを減少させて，相対的率の改善を無意味なものとしてしまうので，ここから選択的漁獲という考えが生れてくる。

たとえば Fig. 6 の A と B を比較すると，A の方ではその成長量の大部分が漁業によつて利用される以前の魚によつて支持されており，漁業はむしろ完成されたものを利用しているといつてもよい。だから，このような利用のし方においては，漁獲を強化することによつて，個体群としての成長量を維持したまま，生体量をへらして負の項を少くさせることができる。一方 Fig. 6 の B の方では，漁獲を強化すると，生体量がへると同時に成長量もへつてしまう。漁業から保護されている部分の成長量はほとんど問題とならない。そして，この結果として，Fig. 1 の A, B を比較すればわかるように，B においては，A にくらべて，加入量 A が著しく高く，又 Y の極大点が F の非常に高い点にあるばかりでなく，Y の値そのものが A より高い水準にあるのである。



第 6 図　年令に対して示した成長による生産量。A はマイワシ，B はマイワシ大羽。

Fig. 6. Production by growth as function of age. (A); sardine, (B); sardine (large). Fish younger than two-age are most productive and protected from large sardine fisheries.

TANAKA (1957) の Fig. 1 で，非定常状態においては，自然増加が定常状態におけるそれと著しく異なることを示したが，

* 消費的という言葉は少し強かもしれない。なぜなら，このような高令魚こそ次の資源を再生産するポテンシャルであるからだ。しかし，もし親魚の量のある範囲内においては，親魚量とそれからの加入量の間に関係がないならば，少なくともその範囲内で議論するかぎり，このことは正しい。

これは即ち，自然増加が年令組成によつて大きく支配されることを示すものである。漁業が急によわめられた時に経過する年令組成は，漁業が強められた時に経過する年令組成は勿論，定常状態におけるそれよりも好ましい——但し一時的のものにすぎないが，——形になつているのである。

定常状態で考える時に，最も好ましい選択曲線は，Fig. 5 から考えられる。$F=0$ 即ち漁業の行われない時に，ある年級群の生体量の変化は一つの極大点もつた曲線によつて示される。この極大値こそ，その年級の示し得る最高の蓄積量である。だから，もしこの極大点に達したとたんに全個体——実際には必要な種だけはとつておかなければならないが——をとりあげてしまうならば，最高の漁獲量があげられる。人間が生産の大部分を管理しているような畜産業や養殖業では，実際にこの考えが受入れられている (Holt, 1956)[5]。

漁業においてこの考えを受入れることは，多くの場合困難である。というのは，漁業による間引が，その機構からいつて，密度比例的であるからである。1万尾から 100 尾を間引くのと，100 尾から 1 尾を間引くのとは，全く同じだけの努力を必要とする。したがつて，一瞬にとりつくしてしまうためには，無限に多くの努力を必要とする。実行可能の範囲で資源を有効に利用するには，ある年級が極大に達する前から漁獲をはじめなければならない。Beverton (1953) の eumetric fishing とは即ちこのような漁業である。

トロール網の選択曲線は，漁獲最少体長 x_c のみで決定されるが，たとえばワカサギ漁業のように，ある年級魚だけを時間的に追つて漁獲するような場合には，努力の時間的配分をかえることによつて，ほとんど任意の選択曲線を与えることができる。ここでは，より複雑な型での合理的選択漁業，それによる湖の生産力の有効利用を考えることができる。

文　献

1) Baranov, T. I. (1918): 漁業科学叢書, **1**, 水産庁, pp. 48, (笠原・深滝共訳).
2) von Bertalanffy, L. (1938): *Human, Biology;* **10**(2), 181～213.
3) Beverton, R. J. H. (1953): *J. Cons. Int. Expl. Mer*, **19**(1), 56～68.
4) Graham, M. (1935): *J. Cons. Int. Expl. Mer*, **10**(2), p. 210.
5) Holt, S. J. (1956): Contribution **9**, Special Meeting of Committee on Research and Statistics, ICNAF, Biarritz, March 1956, pp. 17. (FAO/56/2/1215).
6) Russell, E. S. (1931): *J. Cons. Int. Expl. Mer*, **6**(1), 3～20.
7) 田中昌一 (1956): 東海水研報, **14**, 1～13.
8) Tanaka, S. (1957): 日水誌, **23**(1), 12～18.
9) 田中昌一: 東海水研報, **21**, (印刷中)
10) Thompson, W. F. and F. H. Bell (1934): *Rep. Int. Fish. Comm.*, **8**, pp. 49.
11) Walford, L. A. (1946): *Biol. Bull.*, **90**, 141～147.

A Mathematical Consideration of the Effect of Mortality and Growth on a Fish Population

Syoiti Tanaka

Synopsis

Although Russell's formula (4) or (4′) is appreciated as a fundamental equation for the dynamics of an exploited fish population, it presents nothing more than a

principle unless one evaluates each term in it. BARANOV and many others tried to formulate the fishing mortality on the basis of various mathematical models. Apparently, however, little attention has been paid so far to evaluating the other terms in the equation. While our primary interest concerns, of course, with the catch or fishing mortality, an attempt to formulate all the terms in the equation and to detect the interrelations between them may be significant inasmuch as the effort will increase our knowledge pertinent to the fish population dynamics and means for controlling factors that have influence on the population.

Following BEVERTON (1953), (1-3) are assumed as a mathematical model we need for starting a theory. Then each term in (4′) is formulated as (5–8). Here, A is amount of recruit ; G, growth increment ; and Y, catch in weight. D, natural mortality, is further divided into D_1 and D_2, the former being natural mortality between ages x_c and x_d and the latter that at x_d, the end of life.

For the sake of simplicity in calculation, a parameter, K, in the growth curve (3) is omitted by transformations as in (9) and (10), and (7) is reduced to (11). Integration of (11) leads us through (12) and (13) to (14) which is further reduced to (16), when we define a function as (15). The function $D(\xi_c, \xi_d ; Z')$, proportional to total death between x_c and x_d, is called here "mortality function". The value of the function $D_0(\xi, Z')$ is tabulated in Appendix Table of this paper.

Among the other terms in (4′), A and D_2 are also expressed by D_0 function as (18, 19). Using the relation (20) in steady state, the last term G is written as (21), which is again reduced to (24) by defining "growth function" $G(\xi_c, \xi_d, Z')$ as in (23).

Now that the final versions of all the terms are in hand, we can calculate the values and discuss the interrelations among them. Taking the data in Table 1 for example, Figs. 1, A-C illustrate the results of computation against fishing coefficient F, and Figs. 2, A-C against population biomass P. The curves among three examples, though they are quantitatively different, resemble each other in tendency. It should be noticed that, as P increases, the increment of G is first large, then slow down, whereas, that of D_1 is constant in any size of P and that of D_2 increases steadily. As the results of such a trend of the curves, the natural increase of the populatin—— $G+A-(D_1+D_2)$ or Y—— gets first large then small showing the convex curve. Though the tendency is similar to parabolic shape in Logistic curve, the reason which produces the shape is quite different. Logistic curve comes from consideration of the pressure of density, while in this case the shape depends upon the balance between catabolism and anabolism plus mortality in the population.

When fishing intensity is reduced, population will augment in size mostly due to the increase in old fish that do not grow much (Figs. 3 and 4). Then if the reproduction potential remains on a constant level, the productivity of the population comprising numbers of old fish would be possibly less than that of smaller population consisting mainly of young fish. Thus, we may be able to suggest a favorable age composition that gives a better yield, and a step for controlling selective pattern of fisheries to secure such an age composition. Eumetric fishing proposed by BEVERTON is an example of this conception. Comparison of the curves between Figs. 6, A and B will reveal that in the curves of A, most productive young fish are protected from fishing and better catch would be expected from such a population (see also Fig. 1, A).

Table of $D_0(\xi,\ Z')$

$$D_0(\xi,\ Z') = \left(1 - \frac{3Z'}{1+Z'}e^{-\xi} + \frac{3Z'}{2+Z'}e^{-2\xi} - \frac{Z'}{3+Z'}e^{-3\xi}\right)$$

Z' \ ξ	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	Z'
0.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0
0.1	0.8379	0.8463	0.8548	0.8717	0.8880	0.9034	0.9174	0.9299	0.9410	0.9505	0.9587	0.9656	0.9715	0.9764	0.9805	0.9839	0.9875	0.1
0.2	.7102	.7246	.7391	.7685	.7974	.8247	.8498	.8724	.8923	.9097	.9245	.9372	.9479	.9568	.9643	.9706	.9758	0.2
0.4	.5253	.5467	.5689	.6147	.6608	.7052	.7465	.7840	.8173	.8464	.8715	.8929	.9110	.9263	.9391	.9497	.9585	0.4
0.6	.4006	.4254	.4515	.5068	.5636	.6192	.6715	.7194	.7622	.7997	.8322	.8601	.8836	.9035	.9202	.9341	.9457	0.6
0.8	.3133	.3394	.3674	.4280	.4916	.5549	.6150	.6704	.7202	.7640	.8021	.8348	.8625	.8859	.9056	.9220	.9357	0.8
1.0	.2500	.2763	.3051	.3686	.4367	.5053	.5710	.6321	.6872	.7359	.7782	.8148	.8457	.8720	.8940	.9124	.9278	1.0
1.2	.2029	.2288	.2576	.3225	.3936	.4660	.5360	.6014	.6606	.7131	.7589	.7985	.8321	.8606	.8846	.9046	.9213	1.2
1.4	.1671	.1922	.2207	.2862	.3591	.4343	.5075	.5763	.6388	.6944	.7430	.7851	.8208	.8512	.8767	.8981	.9159	1.4
1.6	.1393	.1635	.1914	.2568	.3309	.4081	.4839	.5554	.6206	.6787	.7297	.7738	.8113	.8432	.8701	.8926	.9113	1.6
1.8	.1175	.1407	.1678	.2328	.3076	.3864	.4641	.5378	.6052	.6655	.7183	.7642	.8033	.8364	.8644	.8879	.9075	1.8
2	.1000	.1221	.1485	.2129	.2881	.3680	.4472	.5228	.5920	.6540	.7086	.7559	.7963	.8306	.8596	.8838	.9041	2
2.5	.0693	.0889	.1134	.1756	.2509	.3325	.4145	.4933	.5661	.6315	.6893	.7395	.7824	.8190	.8499	.8758	.8974	2.5
3	.0500	.0675	.0901	.1500	.2247	.3071	.3909	.4719	.5471	.6150	.6750	.7273	.7721	.8103	.8426	.8697	.8924	3
3.5	.0373	.0529	.0739	.1316	.2055	.2882	.3731	.4557	.5326	.6023	.6640	.7179	.7642	.8036	.8370	.8651	.8885	3.5
4	.0286	.0426	.0621	.1178	.1908	.2736	.3592	.4429	.5212	.5923	.6553	.7105	.7579	.7983	.8326	.8613	.8854	4
4.5	.0224	.0350	.0534	.1072	.1794	.2621	.3481	.4327	.5120	.5842	.6483	.7045	.7527	.7940	.8289	.8583	.8829	4.5
5	.0179	.0294	.0466	.0988	.1701	.2527	.3391	.4243	.5044	.5775	.6425	.6995	.7485	.7904	.8259	.8558	.8808	5
5.5	.0144	.0249	.0413	.0920	.1625	.2449	.3315	.4173	.4981	.5718	.6376	.6952	.7449	.7873	.8233	.8536	.8790	5.5
6	.0119	.0216	.0371	.0865	.1563	.2385	.3252	.4114	.4927	.5671	.6334	.6917	.7418	.7847	.8212	.8518	.8775	6
6.5	.0099	.0188	.0336	.0819	.1510	.2329	.3198	.4063	.4881	.5629	.6298	.6886	.7392	.7825	.8193	.8502	.8761	6.5
7	.0083	.0166	.0308	.0780	.1465	.2282	.3151	.4019	.4841	.5594	.6267	.6858	.7369	.7805	.8176	.8488	.8750	7
7.5	.0070	.0148	.0283	.0746	.1426	.2240	.3110	.3980	.4805	.5562	.6239	.6835	.7348	.7788	.8162	.8476	.8740	7.5
8	.0060	.0133	.0264	.0718	.1392	.2204	.3074	.3946	.4774	.5534	.6215	.6814	.7330	.7773	.8149	.8465	.8731	8
8.5	.0053	.0121	.0247	.0693	.1362	.2173	.3043	.3916	.4747	.5510	.6193	.6795	.7314	.7759	.8137	.8456	.8723	8.5
9	.0045	.0109	.0232	.0671	.1336	.2144	.3014	.3889	.4722	.5487	.6174	.6778	.7300	.7747	.8127	.8447	.8716	9
9.5	.0040	.0101	.0219	.0652	.1312	.2119	.2989	.3865	.4700	.5467	.6156	.6763	.7287	.7736	.8118	.8439	.8709	9.5
10	.0035	.0093	.0208	.0635	.1291	.2096	.2966	.3843	.4679	.5449	.6140	.6749	.7275	.7726	.8109	.8432	.8703	10
10.5	.0031	.0086	.0198	.0619	.1272	.2075	.2945	.3823	.4661	.5433	.6126	.6736	.7264	.7717	.8102	.8426	.8698	10.5
11	.0028	.0080	.0189	.0606	.1255	.2057	.2926	.3805	.4644	.5418	.6112	.6725	.7254	.7708	.8094	.8420	.8693	11
11.5	.0025	.0075	.0182	.0593	.1240	.2040	.2909	.3789	.4629	.5404	.6100	.6714	.7245	.7701	.8088	.8414	.8688	11.5
12	.0022	.0070	.0174	.0582	.1225	.2024	.2893	.3773	.4615	.5391	.6089	.6705	.7237	.7693	.8082	.8409	.8684	12
12.5	.0019	.0065	.0167	.0571	.1212	.2009	.2878	.3759	.4602	.5379	.6078	.6695	.7229	.7687	.8076	.8405	.8680	12.5
13	.0018	.0062	.0162	.0562	.1200	.1996	.2865	.3746	.4590	.5369	.6069	.6687	.7222	.7681	.8071	.8400	.8676	13
13.5	.0016	.0059	.0157	.0553	.1189	.1984	.2852	.3734	.4578	.5358	.6060	.6679	.7215	.7675	.8066	.8396	.8673	13.5
14	.0015	.0056	.0152	.0545	.1179	.1972	.2840	.3723	.4568	.5349	.6052	.6672	.7209	.7670	.8062	.8393	.8670	14
14.5	.0013	.0053	.0148	.0538	.1169	.1962	.2829	.3712	.4558	.5340	.6044	.6665	.7203	.7665	.8058	.8389	.8667	14.5
15	.0013	.0051	.0144	.0531	.1161	.1952	.2819	.3703	.4549	.5332	.6036	.6659	.7197	.7660	.8054	.8386	.8664	15
20	.0006	.0035	.0118	.0483	.1097	.1881	.2746	.3631	.4482									
∞	.0000	.0009	.0060	.0358	.0919	.1671	.2524	.3412	.4276	.5084	.5815	.6466	.7031	.7518	.7933	.8284	.8579	∞

Table of $D_0(\xi, Z')$ (Continued)

Z' \ ξ	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	∞	Z'
0.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.0
0.1	0.9891	0.9911	0.9927	0.9940	0.9951	0.9959	0.9967	0.9973	0.9978	0.9982	0.9985	0.9988	0.9990	0.9992	0.9993	1.0000	0.1
0.2	.9801	.9836	.9865	.9890	.9909	.9926	.9939	.9950	.9959	.9966	.9972	.9977	.9982	.9985	.9988	1.0000	0.2
0.4	.9659	.9720	.9770	.9811	.9845	.9873	.9895	.9914	.9930	.9942	.9953	.9961	.9968	.9974	.9979	1.0000	0.4
0.6	.9553	.9632	.9698	.9752	.9796	.9833	.9863	.9888	.9908	.9925	.9938	.9949	.9958	.9966	.9972	1.0000	0.6
0.8	.9471	.9565	.9642	.9706	.9759	.9802	.9838	.9867	.9891	.9911	.9927	.9940	.9951	.9960	.9967	1.0000	0.8
1.0	.9405	.9510	.9598	.9669	.9729	.9777	.9817	.9850	.9877	.9899	.9918	.9932	.9945	.9955	.9963	1.0000	1.0
1.2	.9352	.9466	.9561	.9640	.9704	.9757	.9801	.9837	.9866	.9890	.9910	.9926	.9940	.9951	.9960	1.0000	1.2
1.4	.9307	.9430	.9531	.9615	.9684	.9740	.9787	.9825	.9857	.9883	.9904	.9921	.9935	.9947	.9957	1.0000	1.4
1.6	.9269	.9399	.9506	.9594	.9666	.9726	.9775	.9816	.9849	.9876	.9899	.9917	.9932	.9944	.9954	1.0000	1.6
1.8	.9237	.9372	.9484	.9576	.9651	.9714	.9765	.9808	.9842	.9871	.9894	.9913	.9929	.9942	.9952	1.0000	1.8
2	.9209	.9349	.9465	.9560	.9639	.9703	.9757	.9801	.9836	.9866	.9890	.9910	.9926	.9940	.9951	1.0000	2
2.5	.9154	.9303	.9427	.9529	.9613	.9682	.9739	.9786	.9825	.9856	.9882	.9904	.9921	.9935	.9947	1.0000	2.5
3	.9112	.9269	.9399	.9506	.9594	.9667	.9726	.9776	.9816	.9849	.9876	.9899	.9917	.9932	.9944	1.0000	3
3.5	.9080	.9242	.9377	.9488	.9579	.9654	.9716	.9767	.9809	.9844	.9872	.9895	.9914	.9930	.9942	1.0000	3.5
4	.9055	.9221	.9359	.9473	.9567	.9644	.9708	.9761	.9804	.9839	.9868	.9892	.9912	.9928	.9941	1.0000	4
4.5	.9034	.9204	.9345	.9461	.9557	.9636	.9702	.9755	.9799	.9836	.9865	.9890	.9910	.9926	.9939	1.0000	4.5
5	.9016	.9189	.9333	.9451	.9549	.9630	.9696	.9751	.9796	.9833	.9863	.9888	.9908	.9924	.9938	1.0000	5
5.5	.9001	.9177	.9323	.9443	.9542	.9624	.9692	.9747	.9793	.9830	.9861	.9886	.9906	.9923	.9937	1.0000	5.5
6	.8989	.9167	.9314	.9436	.9536	.9619	.9688	.9744	.9790	.9828	.9859	.9884	.9905	.9922	.99364	1.0000	6
6.5	.8978	.9158	.9307	.9430	.9531	.9615	.9684	.9741	.9788	.9826	.9857	.9883	.9904	.99215	.99357	1.0000	6.5
7	.8968	.9150	.9300	.9424	.9527	.9611	.9681	.9739	.9786	.9824	.9856	.9882	.9903	.99207	.99351	1.0000	7
7.5	.8960	.9143	.9294	.9420	.9523	.9608	.9678	.9736	.9784	.9823	.9855	.9881	.99024	.99201	.99345	1.0000	7.5
8	.8952	.9137	.9289	.9415	.9519	.9605	.9676	.9734	.9782	.9821	.9854	.9880	.99017	.99195	.99340	1.0000	8
8.5	.8946	.9131	.9285	.9412	.9516	.9603	.9674	.9733	.9781	.9820	.9853	.98792	.99011	.99189	.99336	1.0000	8.5
9	.8940	.9126	.9281	.9408	.9514	.9600	.9672	.9731	.9779	.9819	.9852	.98785	.99005	.99185	.99332	1.0000	9
9.5	.8934	.9122	.9277	.9405	.9511	.9598	.9670	.9730	.9778	.9818	.9851	.98779	.99000	.99180	.99329	1.0000	9.5
10	.8929	.9117	.9273	.9402	.9509	.9597	.9669	.9728	.9777	.98174	.98503	.98773	.98995	.99176	.99325	1.0000	10
10.5	.8925	.9114	.9270	.9400	.9507	.9595	.9667	.9727	.9776	.98166	.98496	.98768	.98991	.99173	.99323	1.0000	10.5
11	.8921	.9110	.9267	.9397	.9505	.9593	.9666	.9726	.97754	.98159	.98491	.98763	.98987	.99170	.99320	1.0000	11
11.5	.8917	.9107	.9265	.9395	.9503	.9592	.9665	.9725	.97746	.98152	.98485	.98759	.98983	.99167	.99317	1.0000	11.5
12	.8913	.9104	.9262	.9393	.9501	.9590	.9664	.9724	.97738	.98146	.98480	.98754	.98979	.99164	.99315	1.0000	12
12.5	.8910	.9102	.9260	.9391	.9500	.9589	.9663	.97234	.97731	.98140	.98475	.98751	.98976	.99161	.99313	1.0000	12.5
13	.8907	.9099	.9258	.9390	.9498	.9588	.9662	.97227	.97725	.98135	.98471	.98747	.98973	.99159	.99311	1.0000	13
13.5	.8904	.9097	.9256	.9388	.9497	.9587	.9661	.97219	.97719	.98130	.98467	.98744	.98971	.99157	.99309	1.0000	13.5
14	.8902	.9095	.9254	.9387	.9496	.9586	.9660	.97212	.97713	.98125	.98463	.98741	.98968	.99155	.99307	1.0000	14
14.5	.8899	.9093	.9253	.9385	.9495	.9585	.96593	.97206	.97708	.98121	.98460	.98738	.98966	.99153	.99306	1.0000	14.5
15	.8897	.9091	.9251	.9384	.9494	.9584	.96586	.97200	.97703	.98117	.98456	.98735	.98964	.99151	.99304	1.0000	15
∞	.8826	.9032	.9203	.9344	.9460	.9557	.96361	.97015	.97551	.97992	.98354	.98651	.98895	.99094	.99258	1.0000	∞

水産資源の力学的取扱—Ⅲ.*

サンマ魚群の移動

土井長之

1. 緒論

漁獲の対象となる魚群は種々な目的を持つて棲息場所を変えている。年令によつて又は魚体の大きさによつて海岸線よりの距離が変化するような移動もあり，若年魚が接岸して高年魚が沖合にいる場合その移動法則は拡散の法則に従つていることもある[1]。これに対して産卵等の為に魚群の洄游移動があり毎年ある時期にある地域に魚群が洄游してきてそれが移動する場合もある。このような移動するものに，大きなものではサンマ，ニシン，日本海のマイワシ等があげられよう。地域的な現象をとらえて論ずる場合には，洄游移動に相当するような現象は非常に多い。その場合ある地点（漁場）にのみ着目すれば，魚群があらわれはじめて漁期が始まり魚群が通過してしまうと漁期が終る。適当な仮定のもとにこのような場合には漁獲死亡を推定することも可能である[2]。今漁場の性質をあらわすものとして加入量（R），漁獲係数（φ），漁具数，漁船数，航海数，操業回数等の漁獲努力量（X），自然死亡係数（μ），逸散係数（K）等採用すれば，漁場で漁獲される漁獲量の時間的変化（これをその漁場の動特性と名付ける）は

$$C=C(R,\ \varphi,\ \mu,\ K,\ X\ \text{etc.}) \quad \cdots\cdots(1)$$

である。このような漁場がいくつも連らなつているのが魚群が移動する場合の状態と考えればよい。そのときには“次の漁場”には“前の漁場”の影響をうけた魚群が来游してくることになり，“その次の漁場”には前の2漁場の影響をうけたものがやつてくることになる。順次このようにして魚群が移動し，各漁場（地点）に漁獲があることになる。以上のような場合についての理論的取扱をサンマについての実例によつて以下に論じてみたい。

2. 魚群の移動法則についての理論模型

漁場の動特性として説明した式（1）について少し精しく述べれば，漁獲量 Cは資源量 S，加入量（R），自然死亡係数 μ，漁獲係数 φ，漁獲努力量（X）等によつて定まるものであるということであつて，その数理的関係は[3][4]，

$$\left.\begin{aligned} S&=\frac{1}{p+\lambda}\cdot R \\ C&=\frac{\varphi}{p}S \\ C&=\frac{\varphi}{p(p+\lambda)}\cdot R \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(2)$$

即ち

によつてあらわされる。

但し

$$\left.\begin{aligned} \lambda&=\mu+\varphi \\ \varphi&=\alpha X, \qquad \alpha:\ \text{漁獲能率} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(3)$$

である。

式（2）においては，漁場への加入量 R があつた場合，漁獲量 C は $\frac{\varphi}{p(p+\lambda)}$ という式によつ

* 1958年5月12日受理　東海区水産研究所業績　A第71号

て結びついている。これがその漁場の性質を示すものであるから，これをその漁場の動特性，そして S と R を結びつける $\frac{1}{p+\lambda}$ は資源の動特性と呼ぶことが出来よう。この行列の C, S, R 等はいずれも時間の関数であって，p は時間的微分 $\left(\frac{d}{dt}\right)$ と考えてよいのであるから，この関係式は時間的変化を示すものである

さて魚群がいくつかの漁場に順次に来遊するとして漁場の区分を i とすると第1の漁場の性質即ち動特性は

$$\frac{\varphi_1}{p(p+\lambda_1)}$$

である。そして加入量 R_1 に対しては

$$C_1=\frac{\varphi_1}{p(p+\lambda_1)}R_1$$

の漁獲量がある。第2の漁場へ行くものは生残った資源量であるから，資源の動特性を用いて

$$\frac{\delta_1}{p+\lambda_1}R_1$$

となる。δ_1 は次の漁場へ移動する割合の瞬時係数である。これが第2の漁場に来る加入量 R_2 となる。故に第2の漁場の漁獲量 C_2 は

$$C_2=\frac{\varphi_2}{p(p+\lambda_2)}R_2=\frac{\varphi_2}{p(p+\lambda_2)}\frac{\delta_1}{(p+\lambda_1)}R_1 \quad \cdots\cdots(4)$$

となることがわかる。又第3の漁場へ来遊するものは

$$R_3=\frac{\delta_2}{p+\lambda_2}R_2=\frac{\delta_1\delta_2}{(p+\lambda_2)(p+\lambda_1)}R_1$$

である。故に

$$C_3=\frac{\varphi_3}{p(p+\lambda_3)}R_3=\frac{\varphi_3\delta_2\delta_1}{p(p+\lambda_3)(p+\lambda_2)(p+\lambda_1)}R_1$$

$$R_4=\frac{\delta_3\delta_2\delta_1}{(p+\lambda_3)(p+\lambda_2)(p+\lambda_1)}R_3$$

となる。順次にこれをおし進めれば

$$\left.\begin{aligned} C_n&=\frac{\varphi_n\delta_{n-1}\cdots\cdots\delta_1}{p(p+\lambda_n)\cdots\cdots(p+\lambda_1)}R_1 \\ R_{n+1}&=\frac{\delta_{n-1}\cdots\cdots\delta_1}{(p+\lambda_n)\cdots\cdots(p+\lambda_1)}R_1 \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(5)$$

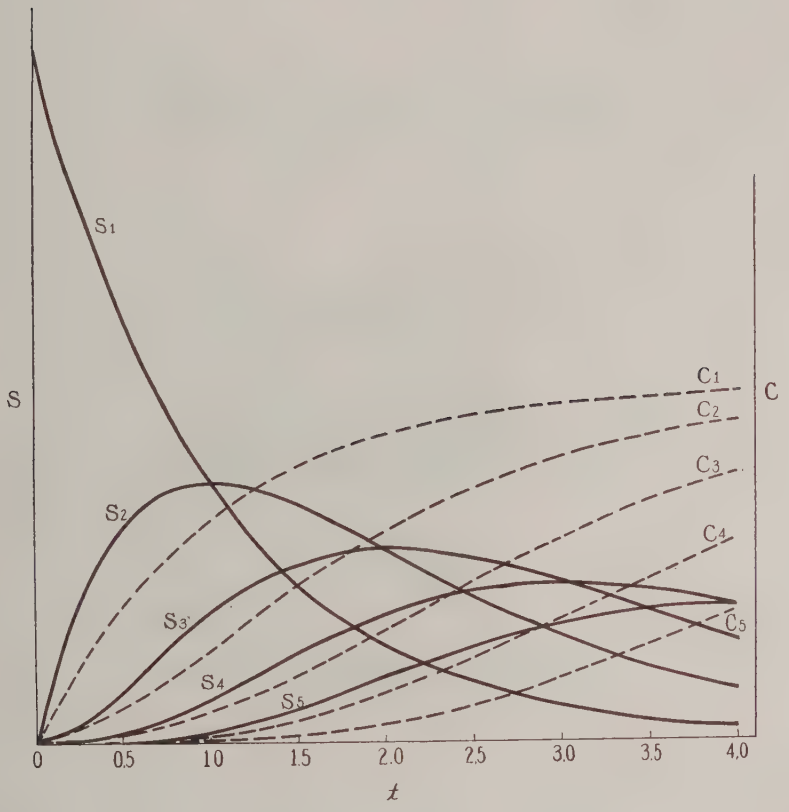
最も簡単な場合として各漁場の性質が同じであり第1漁場に短時間に資源加入があつた場合を考えると，各漁場の漁獲量は第1図のような時間的変化をする。但してここでいう漁獲量とは全漁獲量のことであるが，単位時間（日或は月）内にとれる漁獲量 $\left(\frac{dC}{dt}\right)$ の時間的変化を眺めるのが実際の資料と照合するのに都合がよいので $\frac{dC}{dt}$ $(=pC=\varphi S)$ について描いたものである。点線は全漁獲量 C である。

S-曲線群の山の位置は λ が同じであるから等しい時間でずれている。一般的に漁獲努力等が各漁場で異ればこれは等しくはならない。

3. 昭和26年のサンマ漁業について

さんまの漁場は沖合にまでのびていて漁場別統計がないと正確なことは分らないが，大ざつぱにサンマの動きを眺める為に漁場を漁獲物が水揚げされた漁港の動きに対応させて考えてみた*。

* サンマ漁業は，水揚地が異つていても同じ漁場で操業することが多いので，漁場を漁港に対応さすことは本来は適当でない。漁場別の漁獲統計が出来ればそれを採るべきである。パンチカード方式による資料整理が計画されているが，これが実施されるならば漁場別統計も容易に作製し得るので，この報告のような解析をする場合に実状に合致して正確な計算が出来よう。



第 1 図 各漁場 (i) の動特性 $\left(\frac{\lambda_i}{p+\lambda_i}\right)$ が同じ場合に，第 1 の漁場に短時間に資源の加入があつた時の各漁場の資源量 (S_i) 及び漁獲量 (C_i) の時間的変化

第 2 図に昭和 26 年の岩手・宮城・福島・茨城・千葉の各県に水揚げされたさんまの旬別漁獲量等[6]を示す。

漁獲尾数は漁獲量と標本魚体の平均体重とにより求めた[6]のであるが，漁獲尾数と漁獲量との相関は第 3 図の如くになつて，尾数と重量とは傾向は一致するので，以下の取扱は重量を以つてする。

さて，第 2 図を眺めて，前節の理論と照合してみると次のようなことがらが導き出される。

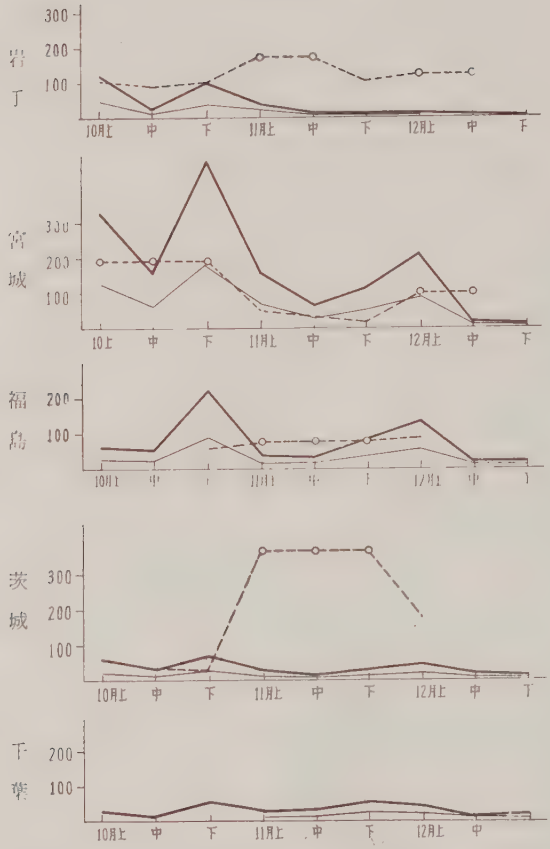
a. 漁況の山が各県殆んど同時にあらわれているが，これは (1) 式の λ が大きいことを示している。

b. λ は φ, μ 及び δ の和であるが，そのうちで δ が大きい。即ちこの年は漁場が急速に広まり各地の漁期は殆んど同時であつたと思われる。

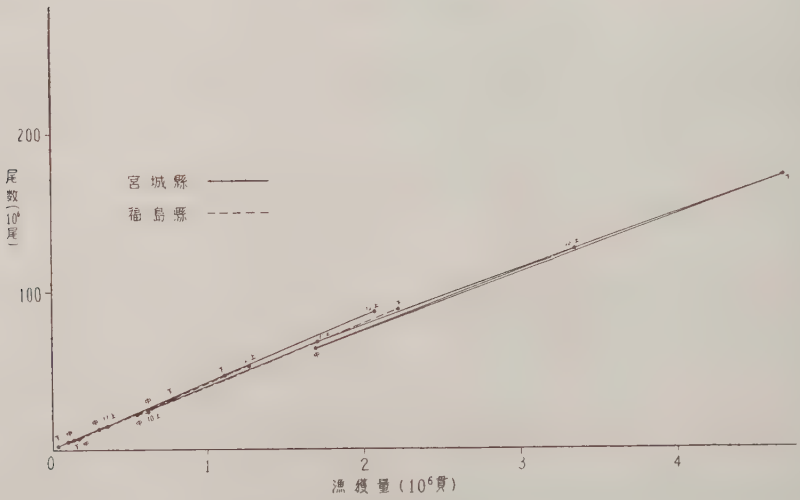
c. 漁場が拡がつたので中心部である宮城・福島両県で漁獲が主として行われている。

4. 昭和 29 年度のサンマ漁業について

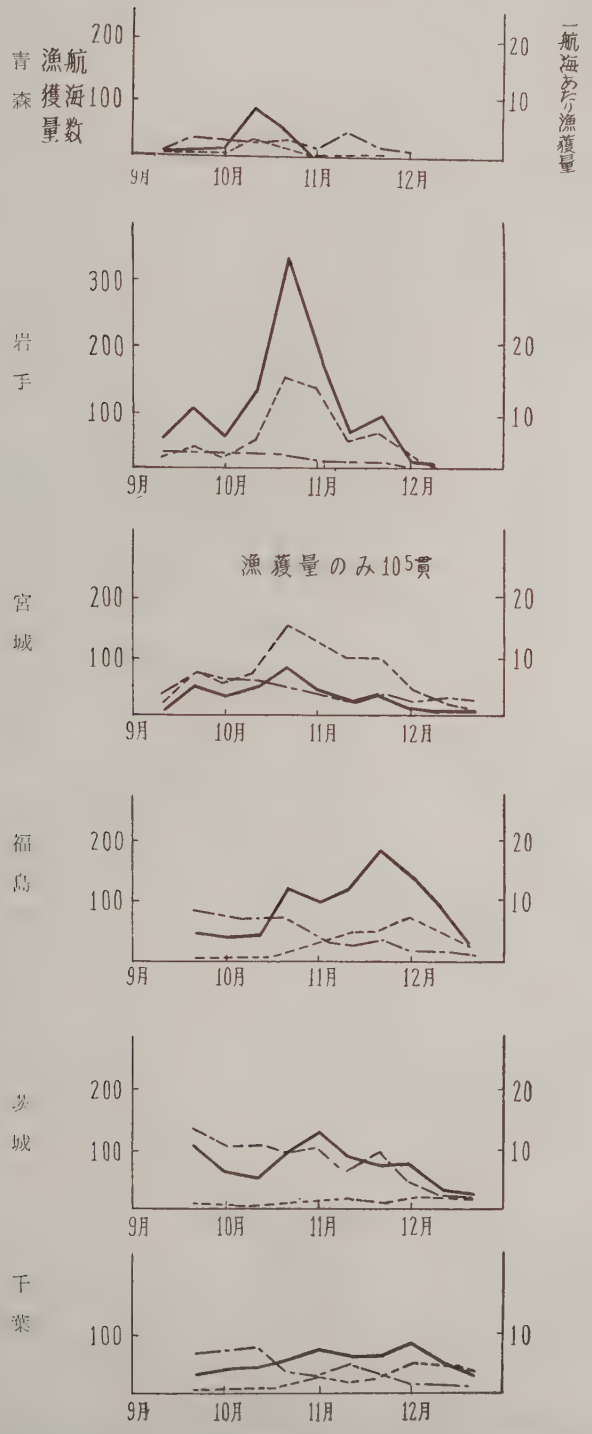
昭和 29 年度のサンマ漁業の様子を統計調査部の“サンマ様式”によつて求める。県別に図示すると第 4 図となる。



第 2 図 昭和 26 年度のサンマ漁獲量の県別旬別の変動。
太い実線は漁獲量 (10^4貫)，細い実線は漁獲尾数 (10^6尼)，点線は航海数である。



第 3 図 漁獲量と漁獲尼数との関係

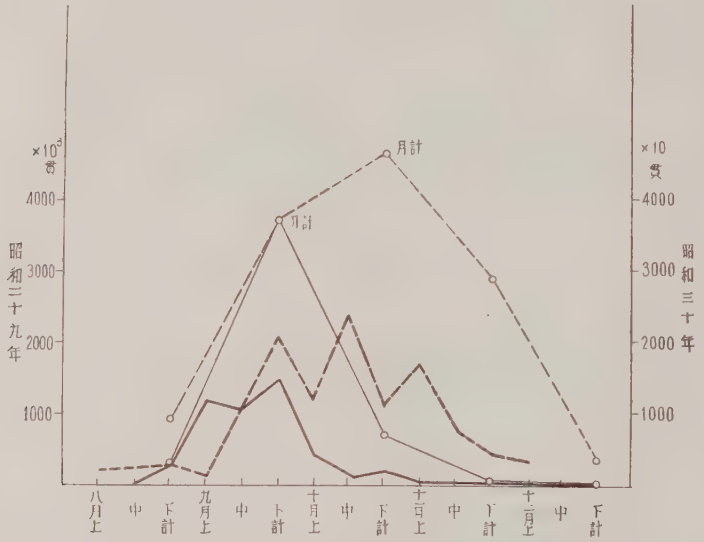


第 4 図 昭和 29 年度のサンマ漁獲量（太い実線 10^4貫），航海数（点線 10）及び 1 航海当り漁獲量（破線10^3 貫/航海）の県別旬別変化。

これをみると一航海あたり漁獲量によるよりは漁獲量や航海数の分布からの方がサンマ魚群の資源量が推測されるようである。逆にいえば一航海あたり漁獲量は資源量の指数としては不適当である。

又この年は移動係数 δ が小さくて回游移動がはつきりと認められることである。漁獲率等が求められていないので全体的に言うことは出来ないが定性的なものとして以上のように言える。

第5図は全国の旬別と月別の漁獲量の変化であつて，昭和29年は実線昭和30年は点線で示してある



第5図　昭和29年度及び30年度の全国サンマの旬別と月別の変動
太い実線：昭和29年度旬別
細い実線：昭和29年度月別
太い点線：昭和30年度旬別
線い点線：昭和30年度月別

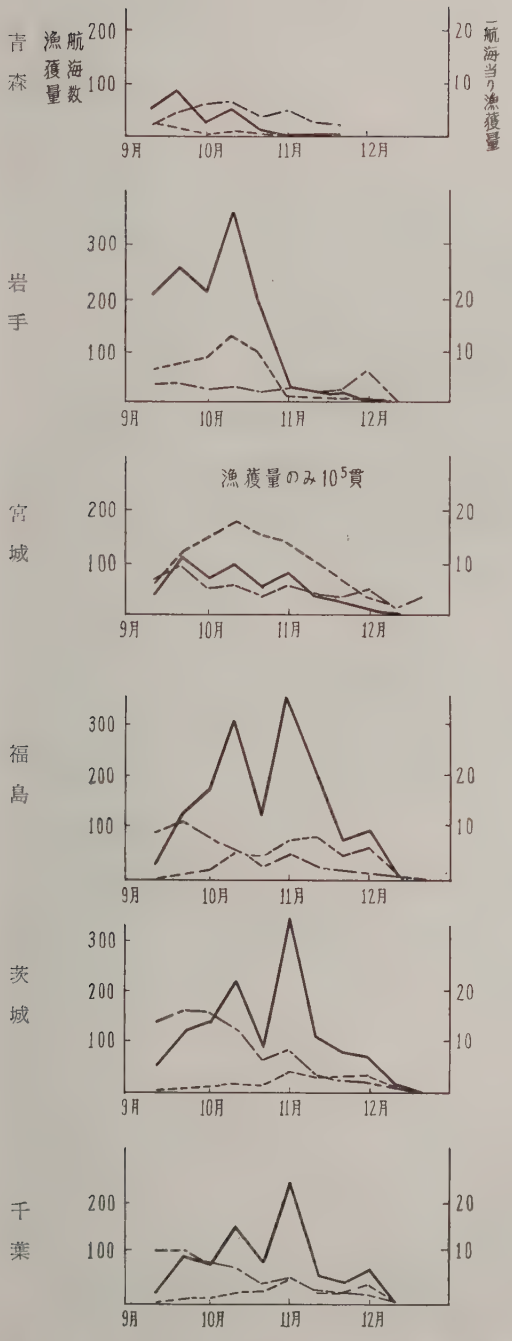
加入量は短期間にあらわれ，その後は加入はなくて漁獲及び自然死亡・逸散によつて資源が減小していつている様子を昭和29年は示している。このことと前述したことによつて，この年は加入は一時的にあらわれそれが来游移動して広まつていつたと言える。

5.　昭和30年度のサンマ漁業について

昭和30年度のサンマの漁獲量等の県別の pattern は第6図に示すようになる。又全国の旬別については第5図の点線であるが，これらをみての特徴はこの年には約20日の週期で3回にわたつて加入量があつたとみられることである。だから移動についての情報等は把握しにくくなる。又一航海あたりの漁獲量には著しい減少傾向があつて，この年は前年に比べれば漁獲の圧力がかなりあつたと想像してよいのではなかろうか。

6.　港毎に航海数が異なることについての検討

昭和30年度のサンマ速報による港別の漁獲量と航海数等は第7図のようである。このような漁

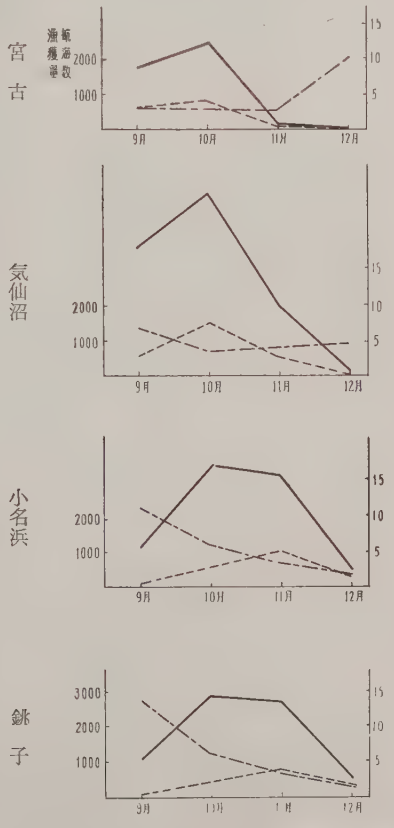


第 6 図　昭和 30 年度のサンマの県別旬別の漁獲量(実線×10^4貫)，航海数（点線 10）及び 1 航海あたり漁獲量（破線 10^3貫/航海）の変動。

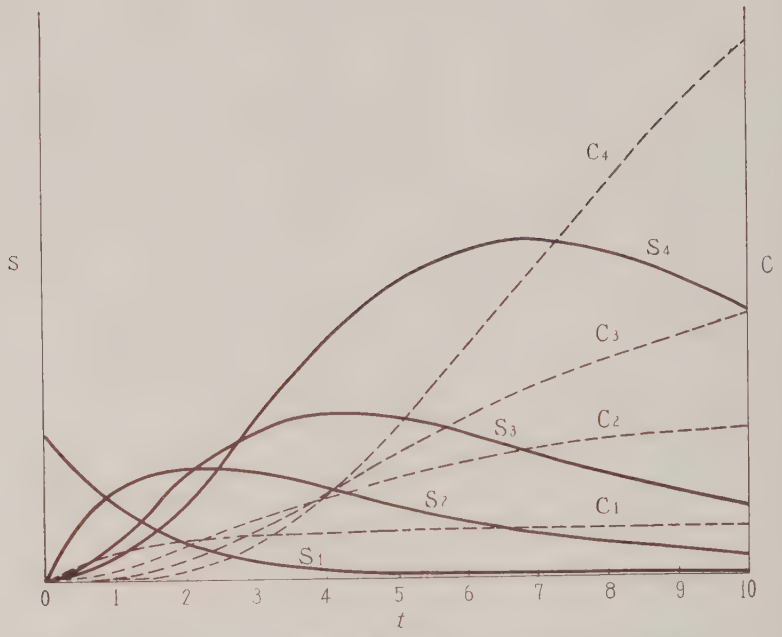
獲努力量（航海数）に対しては各港が同じとも時間的に一定ともおけない。かりに港毎には一定ではなくて時間的には一定とおけば漁獲曲線は第 8 図の如くになる。時間的にも一定ではないことの影響を入れれば理論式の漁獲曲線の両端がもつと急速に減少することになる。サンマの場合このような理論模型をつくることもあまり効果はない。なんとなれば移動や加入量の様子が複雑であつて，それで型式化さるべくもないから。もつと地域的な問題をとり上げるべきであろう。

7. 結　　び

サンマ資源が資源力学的に取扱われることは従来はあまりなかつた。それはサンマ



第 7 図　昭和 30 年度の港別の漁獲量(実線 10^3貫）と航海数（点線）と 1 航海あたり漁獲量(破線 10^3貫/航海)の変動。



第 8 図 港（漁場）により漁獲努力量（航海数）が異なる場合の全漁獲量（C）と資源量（S）の時間的変化。

の魚体調査はイワシやニシンの如くには進んでいなくて年令組成等は分らないこと及び漁況は主として海況に支配され，特に黒潮前線の形によつて漁獲対象となる資源の量と質（魚体組成，漁業形態）がきまること等の理由による。このような漁業形態のもとでも，サンマを回游魚として取扱つてみて資源力学的に検討してみたのが本報告である。魚体調査が不十分であるので，資源の特性を分析して推定することは出来ないが現象の説明にはある程度役立つぐらいである。漁況の地域的及び時間的変化を数理的に説明する一つの方法ではあるが，何故そうなるかは漁場構成理論と結び合せて考えねばならない。例えば木村[5]の理論に従えば，昭和29年には黒潮前線は東西に走り強力であつたのでサンマは南下出来なかつたが30年には前線は南北に形成されサンマの南下移動は急速であつたが，このような知見との結びつき及び比較があつて現象の把握が確実になろう。

文　　献

1) Graham, M.: "Sea Fisheries", Arnold, London, pp. 354–355, 437–438 (1956).
2) Satow, T.: A Trial for the estimation of the fishing mortality of a migrating fish Procession, *Journal of the Shimonaseki college of Fisheries*, **4** (2), 159–166, 1955.
3) 土井長之： 水産資源の力学的取扱—Ⅰ，日水誌 **21**, 1121–1133, 1956.
4) 土井長之： 水産資源の力学的取扱—Ⅱ，東海区水産研究所報告，**13号**，73–84, 1956.
5) 木村喜之助： 海況による魚群の集合・分散の一理論，東北海区水産研究所報告，**7号**，103–145, 1956.
6) 東北海区水産研究所： サンマ資源篇昭和26年度，東北海区水産研究所海洋資源年報，**第3部**，1955.

Dynamical Treatment of Exploitation of Aquatic Resauces -III

Migration of the Pacific Saury *Cololabis saira* (BREVOORT)

Takeyuki Doi

Synopsis

The population of the pacific saury *Cololabis saira* (BREVOORT) has not been treated as a problem of population dynamics till now, for investigations of the saury have been made but little progress to provide the data to estimate parameters of population such as age determination.

Since this type of fiishery, like others, is dependent on oceanographical conditions, the survey has been directed so far to observe patterns of the polar front where the warm Kuroshio Current meets the cold Oyashio Current.

The present report, however, intends to point out that the migration of the saury can be dealt by mathematical method of population dynamics. Characteristics of fishing ground are defined by population parameters, such as recruits (R), instantaneous natural mortality (μ), dispersion (K), migrating velocity (δ), fishing effort (X), efficiency of gear (α) and instantaneous fishing mortality (φ). Theses parameters and catch (C) are related as in equations (2), (3), (4) and (5). Suffix (i) shows the fishing grounds to one of which migrate from another. Theoretical variations of catch (C) and population (S) under such conditions are exemplified in Figures 1 and 8. Assuming that landings at a port or a prefecture represent the catch in fishing ground in its vicinity, actual variations in catch of the pacific saury fishery in 1951, 1954 and 1955 are shown by fishing grounds (prefectures or ports) in Figs. 2, 4, 6 and 7. Comparison of theoretical patterns with actual fluctuations has revealed that instantaneous total mortality rate $\lambda(=\varphi+\mu+\delta)$ is large when peaks of fishing season occur in different regions at the same time. In that case δ as one of components of λ is supposed to be more effective rather than μ. On the other hand, when peaks of fishing season are successively moving from one region to another in the neighbourhood δ is supposed to be small. All the recruits enter the fishing grounds during a short length of time and patterns of migration is clear. To the author's regret, values of δ can not be estimated because the other parameter μ is uncertain.

Annual variations of δ are controlled by oceanographic conditions especially by the polar front of the two currents mentioned above. And its mechanism is considerably evidenced in relation with patterns of the polar fronts before fishing season.

The Oceanographic Study on the Subarctic Region of the Northwestern Pacific Ocean—III.*

On General Condition of the Sea in Spring and Summer

Toshiyuki HIRANO

1. Introduction

As a primary problem of oceanography in the northern North Pacific, it is urgently requested to illuminate local distribution of oceanographic properties in accordance with an over-all picture of the sea conditions in the Western Subarctic Region. This may give also an important reference to the salmon fisheries in the North Pacific that have been drawing international concerns. Previously the author, reporting the system distributions of the Western Subarctic Region mainly on the basis of the survey by the R.V. *Tenyo-Maru* in summer, 1954, discussed their formation (HIRANO, 1957*a* and 1957*b*). Despite the urgent need mentioned above, however, expansiveness of the area that had to be covered by a single boat in a limited period of time was almost inhibitive for the survey team to obtain the amount of data sufficient for estimating horizontal distributions of the temperature, salinity and so forth in the region. Basing on temperature and salinity distribution observed on local parts or over a greater expansion for a longer period as in the 1954 survey, several authors have dealt with the sea condition of the region (FUKAI, 1954; MISHIMA *et al.*, 1955; NASU, 1955; TAGUCHI, 1954, 1955*a*, *b*, 1956*a*, *b*, 1957; UDA, 1955; WATANABE, 1952; YOSHIWARA, 1956). However, their discussions were not necessarily made in association with gerneral distributions of oceanographical features all over the region under study.

In an attempt to draw general charts of horizontal mean distribution of physical properties in spring and summer, the author has made use of amounts of data obtained by a number of vessels that covered the region intermittently during 1929 to 1954 (Table 1). The data, which mainly consisted of those of temperature and salinity at various depths observed, have been divided into the two seasonal categories: spring beginning in April and summer ending in September every year. In Fig. 1 the number of observation in spring and summer is inserted in every division of the areas that is based on the water system distribution proposed in a previous paper (HIRANO, 1957*a*). As the surveys have been seldom carried out in the other seasons, scarcity of the data has made it impossible to advance reasonable estimates of the distribution for those seasons. According to the above treatments the temperature distributions have been prepared in Fig. 2, and the salinity distribution in Fig. 3. From discussions on these distributions, further considerations are to be derived to the currents on the upper layers as well as their variations from spring to summer. As the data from the

*Received May 2, 1958.
Contribution A, No. 68 from the Tokai Regional Fisheries Research Laboratory.

Table 1. Sources of the data under study

Seasons	Research Vessels	Agency	Covering years
Spring (April-June)	*Carnegie*	Carnegie Institution of Washington	1920
	Chelan	University of Washington	1933
	Komahasi	Maritime Safety Agency, Japan	1934, 1935, 1936
	Oshoro-Maru	Hokkaido University	1953, 1954
	Otomari	Maritime Safety Agency, Japan	1938, 1939
	Ryofu-Maru	Central Meteorological Observatory, Japan	1954
	Tenyo-Maru	Tokai Regional Fisheries Research Laboratory	1952, 1953, 1954
	Umitaka-Maru	Tokyo University of Fisheries	1953
Summer (July-September)	*Carnegie*	Carnegie Institution of Washington	1929
	Chelan	University of Washington	1934
	Itukusima	Maritime Safety Agency, Japan	1935
	Kaiyo-Maru	〃	1948
	Komahasi	〃	1933, 1934, 1935, 1936
	Soyo-Maru	Imperial Fisheries Experimental Station	1934, 1937, 1938
	Tenyo-Maru	Tokai Regional Fisheries Research Laboratory	1952, 1953, 1954
	Umitaka-Maru	Tokyo University of Fisheries	1953

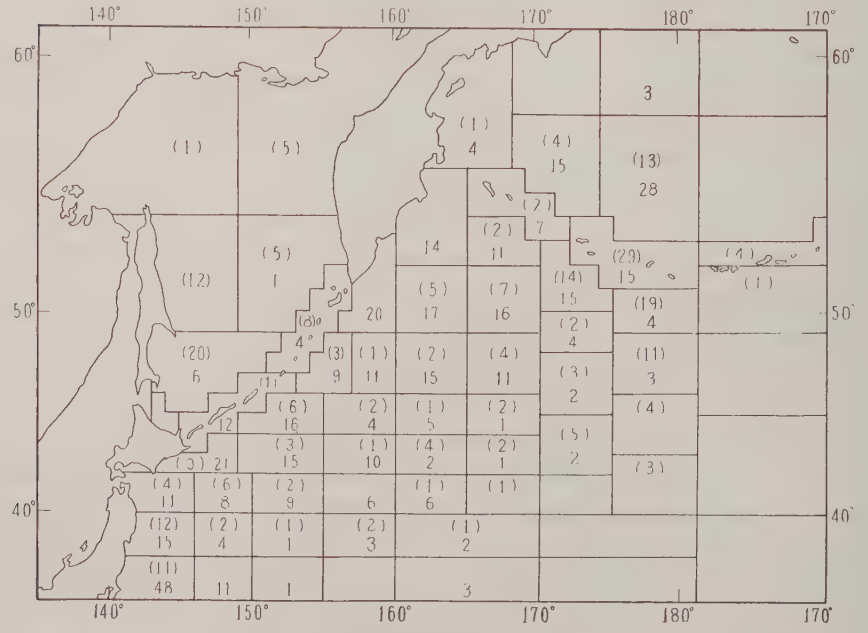


Fig. 1. Divisions of area where mean values of physical properties were obtained. Numerals in parentheses show the number of observations taken in spring and that without parentheses the one in summer.

Okhotsk Sea in summer and from the Bering Sea in spring were very few, discussions on the general sea conditions in these areas will not be conclusive.

2. On the Horizontal Mean Distributions of the Temperature and Salinity in Spring and Summer

Temperature Distribution: *In the spring months*, April to June (Figs. 2*a–c*), the cold water (1° to 3°C) on the upper layer spreads out from the southeast off Kamchatka to the east off the Kurile Islands. Between this and the warm water system in the Northeast Sea Region a zone showing sharp difference in the temperature extends eastward from the southeast off Hokkaido. On the other hand, a little warm water (about 5°C at the surface and about 3°C at a depth of 100 m) appears to flow westward along the south coast of the Aleutian Islands. The temperatures in the area adjacent to central Kamchatka and the Komandorskie Islands are a little higher than in the south of that area. The area of low temperatures stated first, supposedly consisting of C water (the Central water of the Western Subarctic Region, HIRANO, 1957*a*) and O water (the Okhotsk water, HIRANO, 1957*a*) that flows out there through the Kurile Islands, appears to be isolated, at least on the upper layer, from B water (the Bering water, HIRANO, 1957*a*) by the warm water existing south of the Aleutian Islands.

There has been an assumption that a cold current from the Bering Sea flows down southward through the area between Kamchatka and the Komandorskie Islands (SVERDRUP *et al*, 1946; TAKENOUCHI, unpublished). However, these temperature patterns on the upper layer seem to reveal that the southward flow of the cold current, if any, may not be so conspicuous as has been hitherto assumed. Instead, it is more

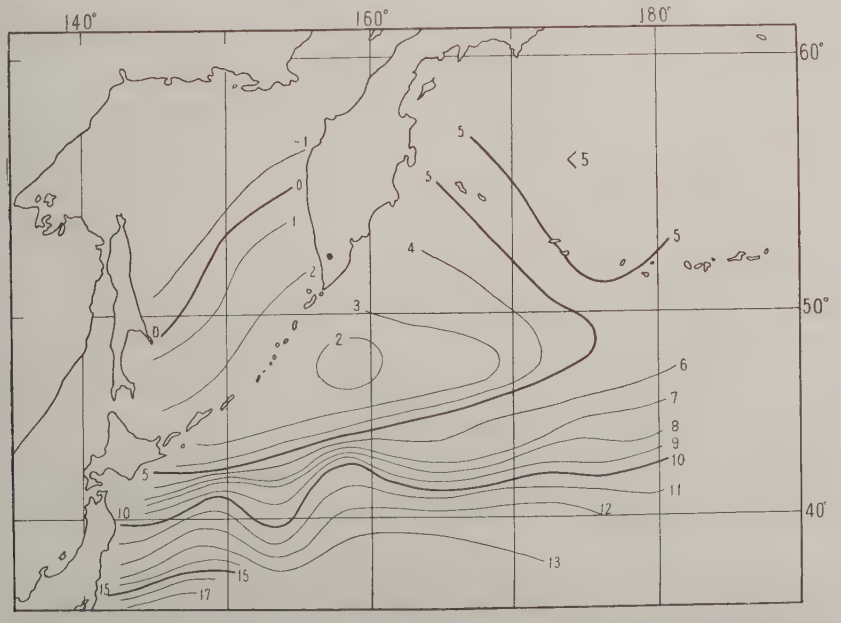


Fig. 2*a*. Horizontal mean distribution of water temperature (°C) at the surface in spring.

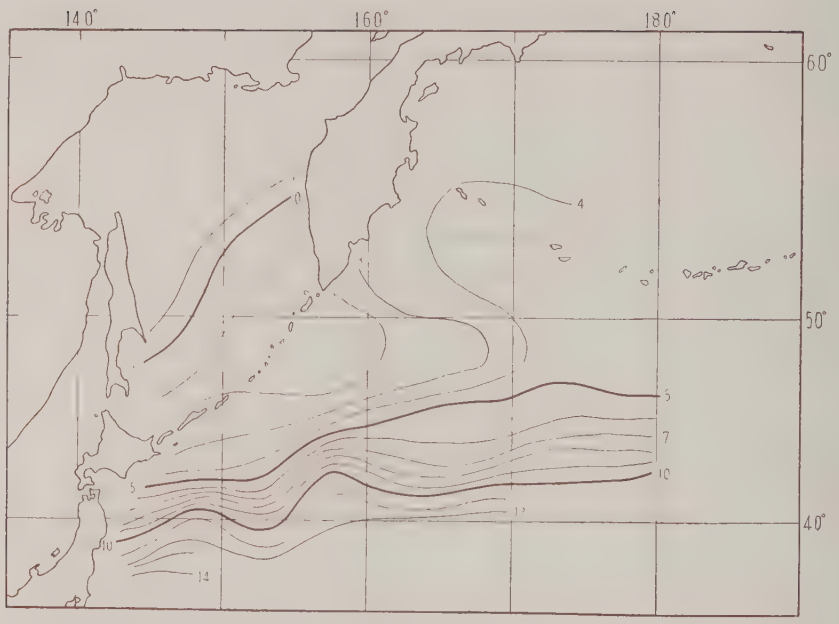


Fig. 2*b*. Horizontal mean distribution of water temperature (°C) at a depth of 25 m in spring.

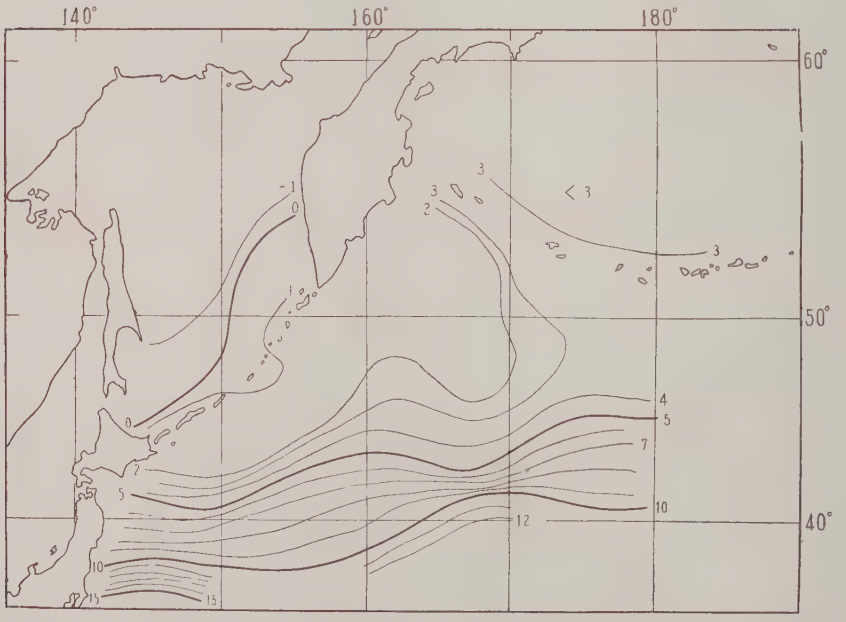


Fig. 2*c*. Horizontal mean distribution of water temperature (°C) at a depth of 100 m in spring.

likely that the westward flow of the relatively warm water along the southern coast of the Aleutian Chains governs the current in the southeast of Kamchatka as will be discussed in detail later.

In addition, a fact that the temperature of the Bering Sea is much higher than that of the Okhotsk Sea is perhaps due to the effect of the above warm water. In the south of the Bering Sea the temperature shows 4°C at the surface and 2°C at a depth of 100 m; no data being available for the north of this sea. Whereas, in the north of the Okhotsk Sea situated on the same latitude as the south of the Bering Sea, the temperature is less than −1°C on the upper layer, though the isothermal lines in the Okhotsk run almost in parallel with the Kurile Islands. In the east of the Okhotsk the temperature is distributed higher than in the west.

In the summer months, July to September (Figs. 2*d-f*), the patterns of horizontal temperature distributions on the surface and a 25 m depth present noticeable differences from those in spring. In the first place, a remarkable ascent of the temperature is indicated almost all over the region, as if the warm water belonging to K water (the Kuroshio water system, HIRANO, 1957*a*) flowed up north into the area between longitudes 160°~170°E. From the salinity distributions to be shown later, however, this water should still be regarded as the Subarctic water with the temperature rising from spring to summer mainly attributable to the insolation. Further reference is given to some of local bodies of waters including one in the southeast of the Okhotsk Sea bounded by the Kurile Islands, another in the east of Kamchatka and south off the Komandorskie Islands, and another in the center of the Bering Sea that can be located by extending a line northeast through these two areas. The temperatures in these waters are somewhat higher than in the surrounding seas. Particularly, in the east of south Kamchatka, the phenomenon is commonly observed in the data obtained by salmon fishing boats that operated in the neighborhood in several consecutive seasons

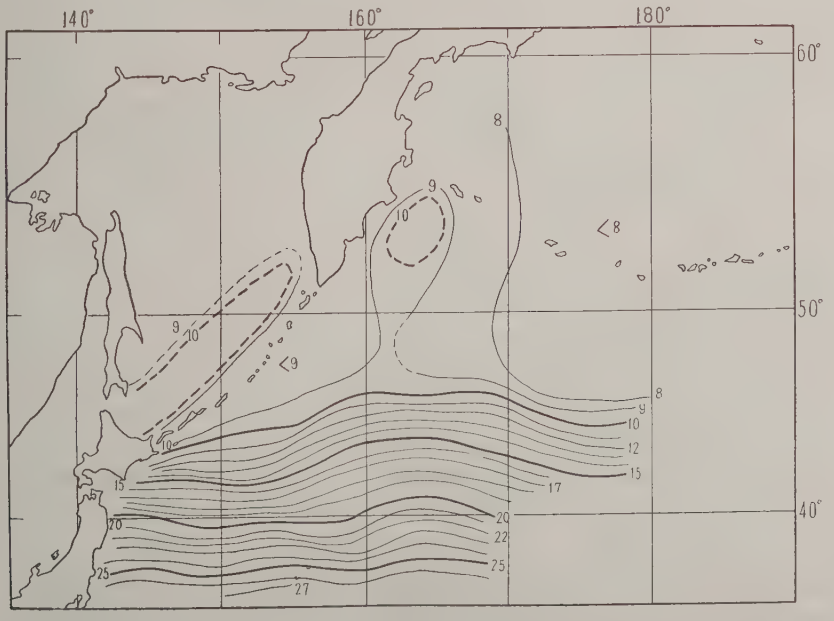


Fig. 2*d*. Horizontal mean distribution of water temperature (°C) at the surface in summer.

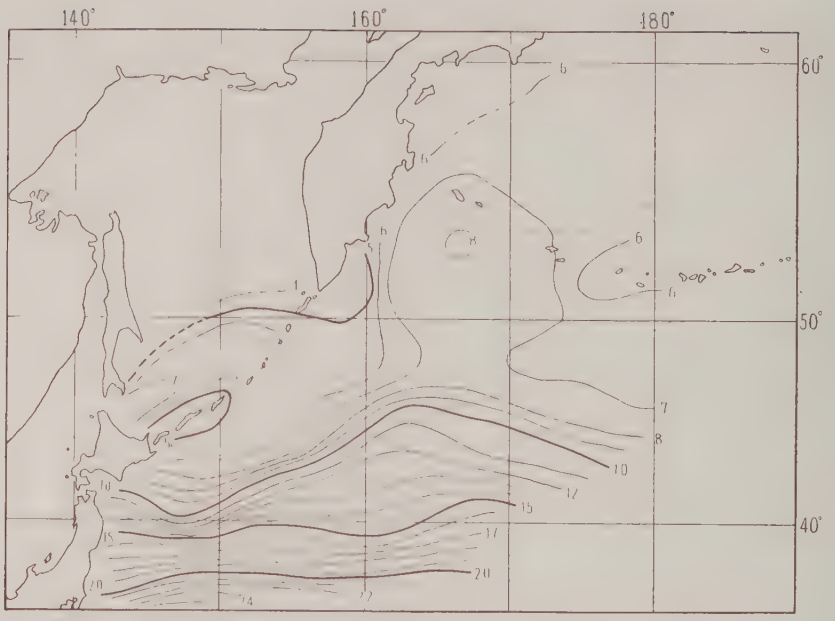


Fig. 2*e*. Horizontal mean distribution of water temperature (°C) at a depth of 25 m in summer.

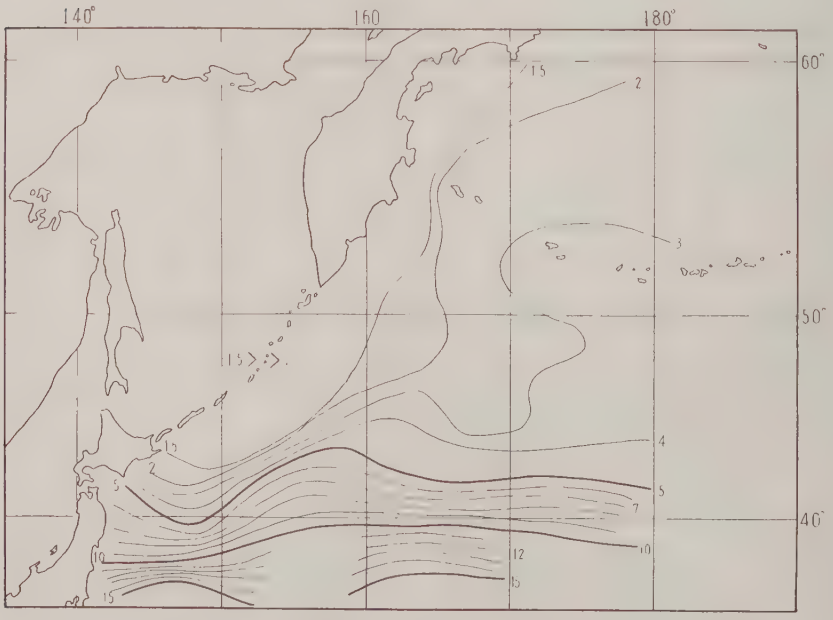


Fig. 2*f*. Horizontal mean distribution of water temperature (°C) at a depth of 100 m in summer.

(Taguchi, 1955; Atlas of the Climatic Chart of the Ocean, 1938). In the south of this high temperature area there is another expansion of water with the temperature a little lower (by about 1°C) than the former; the area is considered to belong to C water.

Between these two bodies of water, a relatively warm water with an intermediary temperature seems to flow westward along the south of the Aleutian Islands. Salmon fishing grounds are often formed around the proceeding front of the flow.

The circumstances are again suggestive that the warm water areas described above, though may appear as if they had been formed by a northward flow of K water in summer, are possibly resulted from a specific process of the insolation, which may have taken place like this. Owing to a limited advection and small turbulences by the wind relevant to the oceanic and climatic conditions in the areas (Atlas of the Climatic Chart of the Oceans, 1938), the downward transfer of heat energy caused by the insolation is smaller in these areas than in the neighborhoods. The phenomenon may be regarded as one of circumstantial evidences explaining why the cold current flowing along the east coast of Kamchatka is so weak or almost nothing as compared with the relatively warm current running westward along the south of the Aleutian Chains. It is likely that the warm current turns south at the southern corner of the warm area off Kamchatka. An exception from the above situations is possible existence of an advection from the warm water in the Japan Sea (the Tsushima warm current) into the southern part of the Okhotsk Sea as shown in Fig. 5 for the reason to be given later.

Despite remarkable temperature differences from spring to summer on the upper 25 m layer, little or no change in temperature distribution has been traced at a depth of 100 m throughout the two seasons. Thus, one may assert that no appreciable variations happen from spring to summer in respect to geographical position of the water masses and their flowing direction in the region under study.

At some representative layers under a depth of 100 m, temperature distribution patterns make, on the whole, no great difference from one at a depth of 100 m, except a few points that may be regarded as characteristics. For, with an increase in depth, values of the isothermal lines become lower and temperature differences between two adjacent water systems smaller ; at a depth of 1,000 m of the cold water system the temperature stands at about 2.5°C and is nearly 1° lower, while at a depth of 1,500 m it shows 2°C and is 0.5° lower, than the warm water.

Salinity Distribution : *In spring* (Figs. 3*a–c*), a salinity zone showing south-to-north gradient appears on the layer above a depth of 100 m, spreading in parallel with latitudes approximately 40°—42° N. As in the temperature distribution, the zone draws a definite line between the warm water system with high salinity in the south and the cold water with low salinity in the north. Especially in this cold water system there are areas with still lower salinity : one is in the southern part of the Okhorsk Sea, another is spreading like a tongue from the vicinity of Karaginskii Island in central Kamchatka toward Attu Island, and anothor tongue extending westward along the south coast of the Aleutian Islands toward Amchitka Island, the last one probably corresponding with the warmer flow mentioned above. The phenomena are supposedly resulted from, beside precipitation, melting ice in the vicinities of Sakhaline, Kamchatka and the Aleutian Islands.

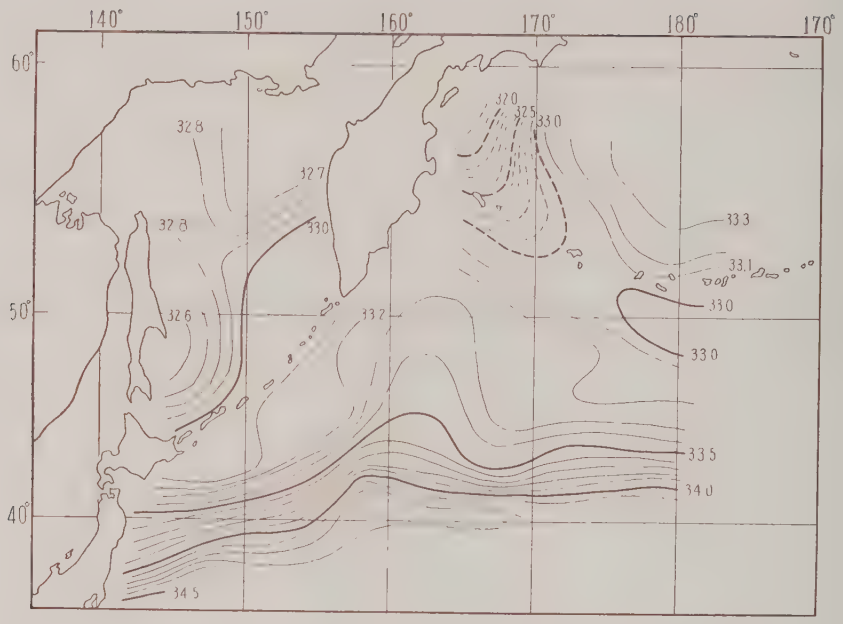


Fig. 3*a*. Horizontal mean distribution of salinity (‰) at the surface in spring.

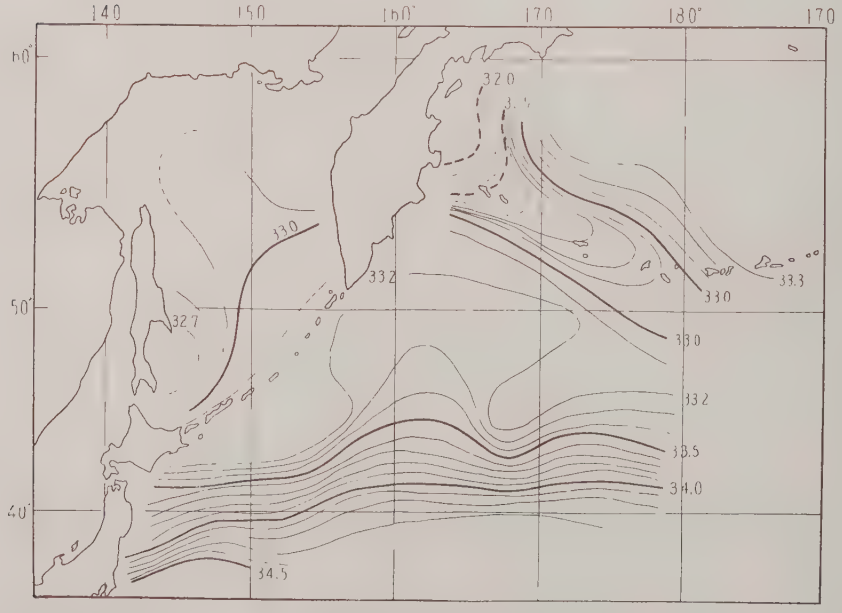


Fig. 3*b*. Horizontal mean distribution of salinity (‰) at a depth of 25 m in spring.

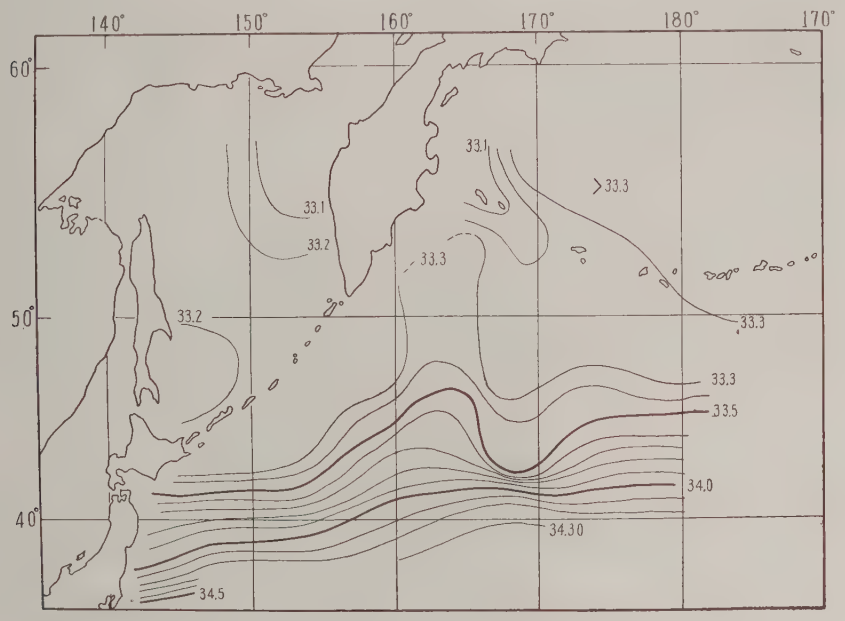


Fig. 3c. Horizontal mean distribution of salinity (‰) at a depth of 100 m in spring.

In summer, (Figs. 3*d–f*) the expansion of salinity gradient still remains at about latitudes 40°—42°N. The salinity over the whole systems of the cold water in the north is by 0.2—0.3‰ lower than in spring. Whereas, the lower salinity seemingly produced

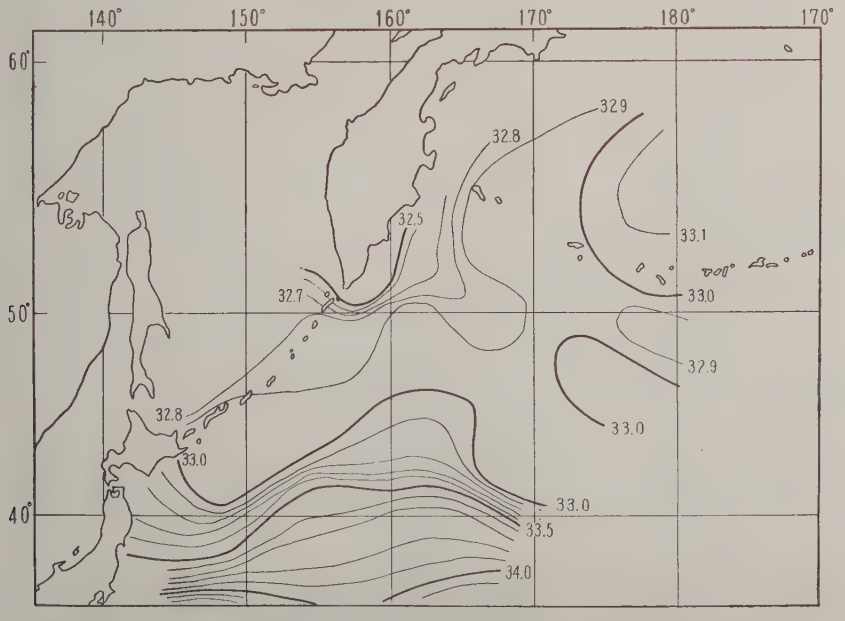


Fig. 3d. Horizontal mean distribution of salinity (‰) at the surface in summer.

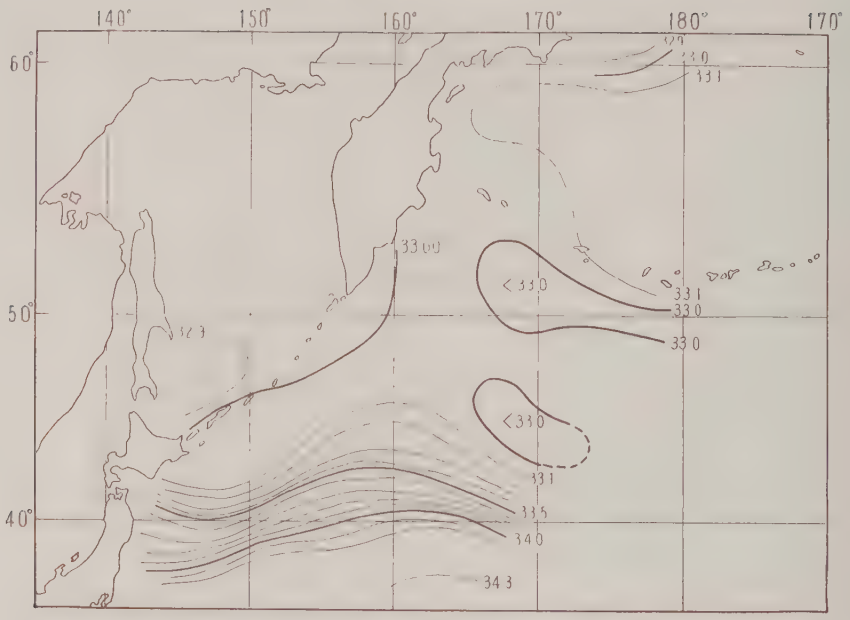


Fig. 3*e*. Horizontal mean distribution of salinity (‰) at a depth of 25 m in summer.

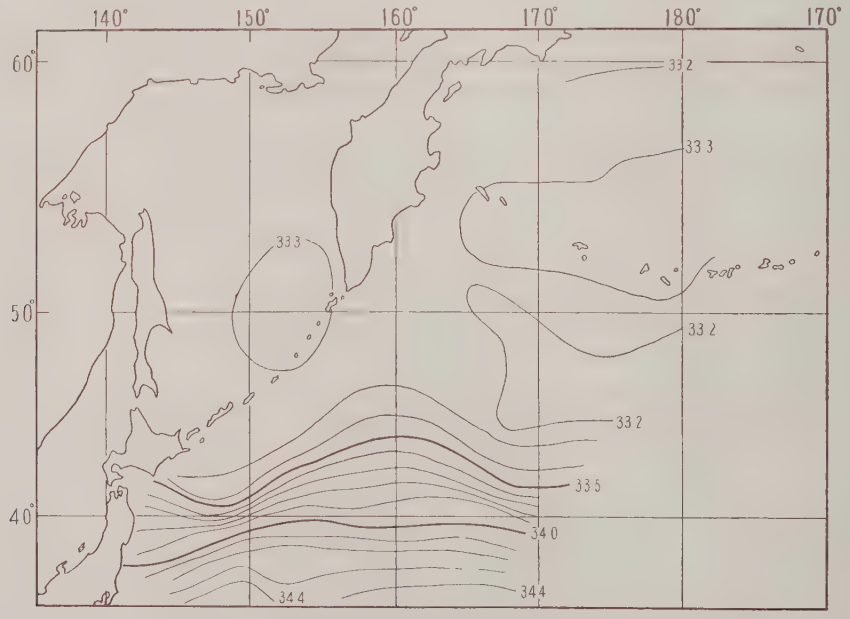


Fig. 3*f*. Horizontal mean distribution of salinity (‰) at a depth of 100 m in summer.

from the icy water has almost disappeared from the region except the southeast off Kamchatka and the south of Amchitka Island, where the low salinity water still continues to flow westward. Referring to a 100 m depth, there was a little high salinity

water in spring at the southeast off Kamchatka between two low salinity areas, one in the east, and the other in the west. It is remarkable to note that in summer this particular water seems to have been blocked up and moved into the Okhotsk Sea through the north Kurile Islands, suggesting the existence of such a flow.

The above findings and suggestions may be summarized as follows.

From the summer temperature distribution at the surface the warm water in C water area appears as it were the southern water that had flowed up north. However, the salinity there is somewhat lower in summer than in spring, and both temperature and salinity at a 100 m layer seem hardly changeable throughout the seasons under study. The facts prove that C water itself keeps existing nearly in the same locality from spring to summer and that the high temperature at the surface in summer is possibly resulted from the insolation.

Characteristic movements of waters in the region are: an westward current with high temperature and low salinity probably existing along the south of the Aleutian Chains throughout the two seasons; a current seemingly very weak between the east coast of Kamchatka and Komandorskie Islands; the water flowing from the Pacific side into the Okhotsk Sea through the north Kurile, and a counter flow through the south Kurile.

3. Temperature Changes on the Upper 100 m Layer from Spring to Summer

Now, in relation with the above suggestions, temperature variations on the surface layer of the region will be discussed in more detail from the point of quantitative analysis. First, using the mean temperatures on the surface and at a depth of 100 m, ϑ_0 and ϑ_{100}, respectively, in each division of the areas (Fig. 1), the author has computed the mean values of differences between ϑ_0 and ϑ_{100}, and their standard deviations in spring and summer as shown in Table 2. The differences $\vartheta_0-\vartheta_{100}$ in spring are

Table 2. The mean values of $\vartheta_0-\vartheta_{100}$ in °C and their standard deviations in spring and summer in the Northwestern Pacific. Here ϑ_0 and ϑ_{100} are mean temperatures of the surface and a depth of 100 m respectively in each division of the areas shown in Fig. 1.

	Spring	Summer
$\overline{\vartheta_0-\vartheta_{100}}$	2.01	8.23
Standard deviation	1.24	3.04

Table 3. The mean values of $\vartheta_{su}-\vartheta_{sp}$ in °C and their standard deviations at the surface and a depth of 100 m in the Northwestern Pacific. Here ϑ_{su} and ϑ_{sp} are mean temperatures in summer and spring respectively in each division of the area shown in Fig. 1.

	At the surface	At a depth of 100 m
$\overline{\vartheta_{su}-\vartheta_{sp}}$	6.28	0.18
Standard deviation	2.92	0.29

generally much smaller than in summer. Next, according to divisions of the areas, computations have been made for the mean values of $\vartheta_{su}-\vartheta_{sp}$ and their standard deviations at the surface and a 100 m depth, where ϑ_{su} and ϑ_{sp} are the mean tempera-

tures in summer and spring, respectively (Table 3). At the surface, temperature rises about 6.3 °C from spring to summer, while at a 100 m depth, it remains almost constant throughout the seasons. From the tables one may assume that in the Western Subarctic Region the temperature variations, if any, are much smaller in the depths below a 100 m depth than in the depths above, and that the heating, which takes place from spring to summer possibly because of the insolation and the advection from the outside of the region, is nearly confined to the upper 100 m layer.

Here, assuming the heating only by the insolation, the auther introduces a simplified equation of diffusion governing the vertical temperature distribution as

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial t} = k \frac{\partial^2 \vartheta}{\partial z^2}, \tag{1}$$

where ϑ is temperature, t time, k eddy conductivity, and z coordinate taking its positive direction from the surface to the bottom.

Assuming a constant flux (ψ) of heat given at the surface throughout the seasons, write the initial and boundary conditions, respectively as:

$$\left.\begin{aligned} &\text{at } t=0 && \vartheta=0, \\ &\text{at } z=0 && -k\frac{\partial \vartheta}{\partial z}=\psi=\text{const.}, \\ &\text{at } z=\infty && \vartheta=0. \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

Here we can consider that ϑ approximately represents a value of temperature which has risen due to the supply of heat at the surface since spring. The solution is easily obtained as

$$\vartheta = \frac{z\psi}{k\sqrt{\pi}}\left[\frac{2\sqrt{kt}}{z}\exp\left\{-\left(\frac{z}{2\sqrt{kt}}\right)^2\right\} - \sqrt{\pi}\left\{1-\Phi\left(\frac{z}{2\sqrt{kt}}\right)\right\}\right], \tag{3}$$

where, $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^x e^{-\alpha^2}d\alpha$. Then putting $t=T=7.8\times10^6$ sec (for three months from spring to summer), ϑ at T shows a difference $(\vartheta_{su}-\vartheta_{sp})$ by which the temperature ascended after spring. Furthermore, putting $\vartheta_{z=0}=\vartheta_0$ and $\vartheta_{z=z_i}=\vartheta_{z_i}$, from (3) respectively,

$$\left.\begin{aligned} \vartheta_0 &= \frac{\psi}{k\sqrt{\pi}}\times 2\sqrt{kT}, \\ \vartheta_{z_i} &= \frac{\psi}{k\sqrt{\pi}}\left[2\sqrt{kT}\exp\left\{-\left(\frac{z_i}{2\sqrt{kT}}\right)^2\right\} - z_i\sqrt{\pi}\left\{1-\Phi\left(\frac{z_i}{2\sqrt{kT}}\right)\right\}\right] \end{aligned}\right\} \tag{4}$$

Then,

$$\frac{\vartheta_{z_i}}{\vartheta_0} = \exp\left\{-\left(\frac{z_i}{2\sqrt{kT}}\right)^2\right\} - \frac{z_i\sqrt{\pi}}{2\sqrt{kT}}\left\{1-\Phi\left(\frac{z_i}{2\sqrt{kT}}\right)\right\} = \text{const.} = K_i. \tag{5}$$

If the above equations (1) and (2) exactly govern the ascent of temperature from spring to summer, $\Delta\vartheta_{z_i}/\Delta\vartheta_0$ may be nearly constant regardless of the value of ψ at any place in the region. Here, $\Delta\vartheta_{z_i} = \vartheta_{su}-\vartheta_{sp}|_{z=z_i}$ is the ascended value at a depth z_i in meter and $\Delta\vartheta_0 = |\vartheta_{su}-\vartheta_{sp}|_{z=0}$ one at the surface.

Among temperatures ascended from spring to summer at each division of area, the values of $\Delta\vartheta_{10}$, $\Delta\vartheta_{25}$, $\Delta\vartheta_{50}$ and $\Delta\vartheta_{100}$ corresponding to $\Delta\vartheta_0$ are shown in Figs. 4*a*-*d*, respectively. It is expected that if the ascended values in each area follow the equa-

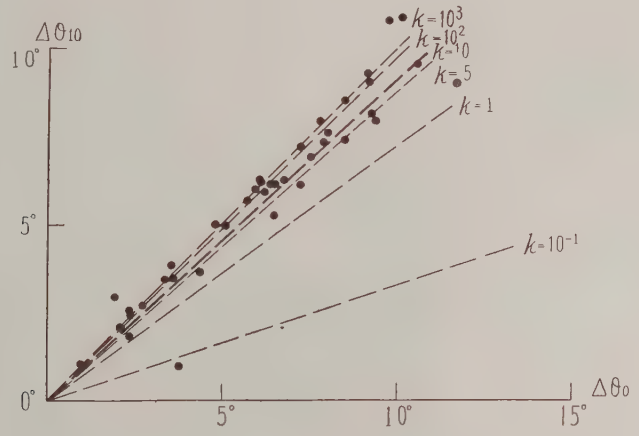


Fig. 4*a*. Relation between $\Delta\vartheta_0$ and $\Delta\vartheta_{10}$, ascended values of temperature from spring to summer at the surface and at a depth of 10 m respectively. Lines for the equation (5) corresponding to several values of k are shown in the figure, when $k=10^3$, 10^2, 10, 5, 1 and 10^{-1} (*C.G.S.*) respectively.

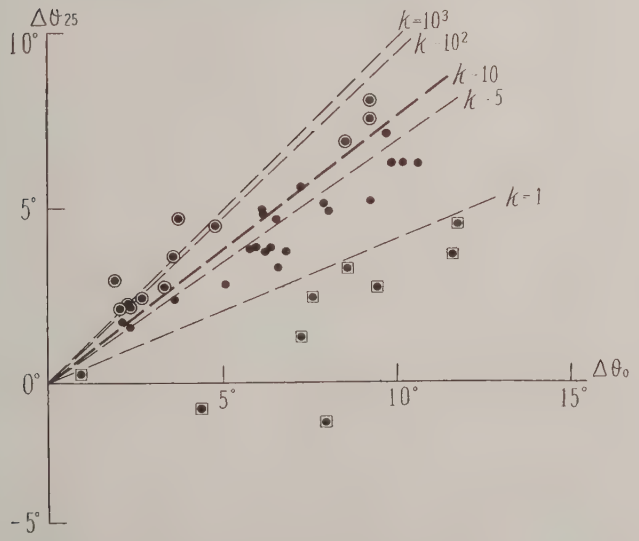


Fig. 4*b*. Relation between $\Delta\vartheta_0$ and $\Delta\vartheta_{25}$, ascended values of temperature from spring to summer at the surface and at a depth of 25 m respectively. Lines for the equation (5) corresponding to several values of k are shown in the figure, when $k=10^3$, 10^2, 10, 5 and 1 (*C.G.S.*) respectively. Here, points plotted explicitly upper and lower than the extent of $k=1\sim10$ are respectively marked ⊙ and ⊡.

tion (5), plotted points in the figures should show linear patterns. In the above figures, although plotted points are fairly scattered, their linear character is obvious.

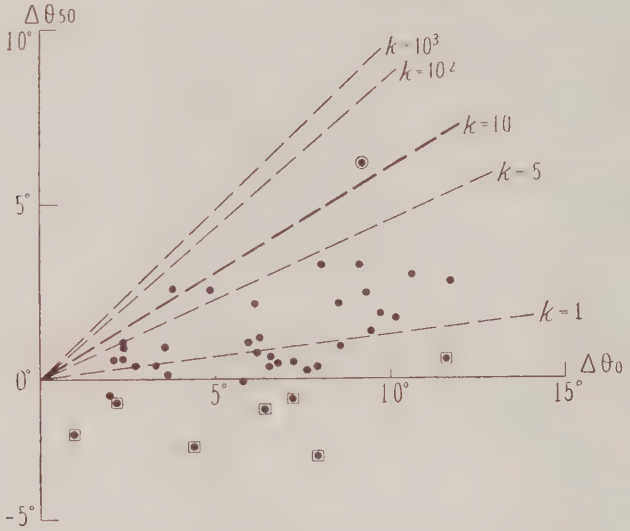


Fig. 4*c*. Relation between $\Delta\vartheta_0$ and $\Delta\vartheta_{50}$, ascended values of temperature from spring to summer at the surface and at a depth of 50 m respectively. Lines for the equation (5) corresponding to several values of k are shown in the figure, when $k=10^3$, 10^2, 10, 5 and 1 (*C.G.S.*) respectively. For symbols ⊙ and ⊡ see footnote of Fig. 4*b*.

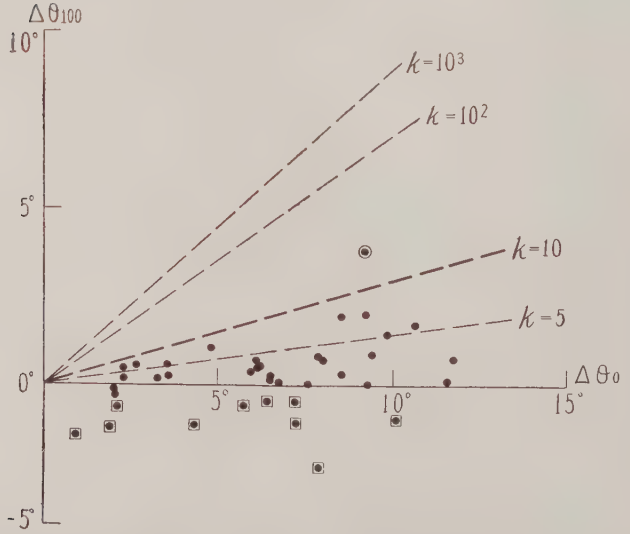


Fig. 4*d*. Relation between $\Delta\vartheta_0$ and $\Delta\vartheta_{100}$, ascended values of temperature from spring to summer at the surface and at a depth of 100 m respectively. Lines for the equation (5) corresponding to several values of k are shown in the figure, when $k=10^3$, 10^2, 10 and 5 (*C.G.S.*) respectively For symbols ⊙ and ⊡ see footnote of Fig. 4*b*.

In adittion, putting $k=10^3$, 10^2, 10, 5, 1 and 10^{-1} (*C.G.S.*), respectively, let us compute values of K corresponding to each value of k from the equation (5) to draw broken lines on the above figures. Basing upon these figures, we may be able to estimate, in general, $k=$ 1~10 (*C.G.S.*) above a depth of 100 m, although k in nature is relatively large at the surface, getting smaller downward.

Here, let us look back the discussion from another angle, assuming $k=1\sim10$ in the region. Some points plotted outside of the extent corresponding to $k=1\sim10$ in the figures show that the ascent of temperature in the areas where these points were obtained may be not satisfied only by equations (1) and (2). This fact suggests that another treatment taking the factor of advection or horizontal mixing into consideration may be needed for these areas. In the figures, points plotted obviously upper or lower than the extent of $k=1\sim10$ are marked with ⊙ and ⊡, respectively. In the area marked with ⊙, the heat supplied by some other mechanisms seems large enough to compare it with effect of the insolation; in the area bearing ⊡, effect of the cooling by some mechanism is evident in spite of the heating that occurred as in equations (1), (2); and in the area taking •, equations (1), (2) are almost satisfied. These marks are transcribed in Fig. 5 to show their geographical positions. In the figure, marks ⊕ and ⊕ indicate the areas where ⊙ and ⊡ appear only in Fig. 4*b*

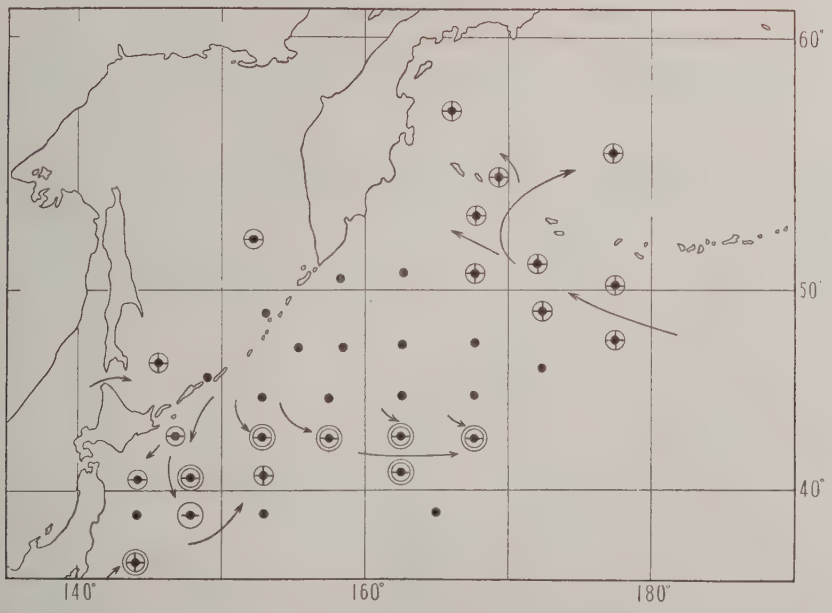


Fig. 5. Geographical position of points plotted as •, ⊙ and ⊡ in Figs. 4*b–c*.
⊕ and ⊕ corresponds to ⊙ and ⊡ appearing only in Fig. 4*b*,
⊕ 〃 〃 ⊡ 〃 〃 in Fig. 4*c*,
⊕ and ⊕ 〃 〃 ⊙ and ⊡ appearing in both Figs. 4*b–c*,
• 〃 〃 • in Figs. 4*b–c*,
Arrows show the schematic flowing pattern estimated from these marks in this figure and the horizontal distributions of temperature and salinity described in Section 2.

respectively; mark ⊙ corresponds to ◙ only in Fig. 4*c*; marks ◉ and ◉ to ⊙ and ◙ on both Figs. 4*b* and 4*c*; and mark • to point • in Figs. 4*b–c*. Comparison of these marks in Fig. 5 with the horizontal distributions of temperature and salinity described in Section 2 may lead one to a fairly reasonable estimate that an effective advection exists in the marked areas with such a flowing pattern as schematically represented by arrows in Fig. 5.

Consequently, it may be feasible to state that the water having high temperature and low salinity proceeds westward along the southern side of the Aleutian Chains toward south Kamchatka during spring to summer, part of it entering the Bering Sea through the area between Attu Island and the Komandorskie Islands. On the other hand, in the east of Hokkaido there is a great expansion of the cold waters which consists of part of O water flowing southward through the south Kurile Islands, and C water coming down southward. These cold waters are estimated to flow eastward side by side. In the south of this cold expansion, perhaps across the front, there likely exists a warm water area in which *K* water or its branches run eastward as well. These features are considered to correspond well to the fog distribution in the region (*cf.* "Atlas of Climatic Charts of the Oceans," 1938) and to present a close agreement with the description in the previous paper (Hirano, 1957*a*).

4. Dynamic Topographies in Spring and Summer

In the preceding section discussions for the water flows in the Subarctic Region have been made on the basis of the temperature and salinity distributions and the temperature changes from spring to summer. According to the distributions of anomaly of dynamic height (*JD*) computed from the above data, this section is devoted to estimating the general pattern of the flows in the Subarctic Region. Figs. 6*a–b* and 7*a–b* show dynamic topographies at a 10 m and a 100 m depth in spring and summer, respectively, taking a 800 m depth as the reference level. From these figures and considerations on the flows discussed above, we may summarize the pattern of flows on the upper layer in the region as follows.

Throughout spring and summer there is a current flowing westward along the south of the Aleutian Chains, part of which enters the Bering Sea through the west Chains of the Aleutian, perhaps mainly between Attu Island and the Komandorskie Islands. Another part and that a major one, which keeps flowing west toward the southeastern coast of Kamchatka, is believed to join to the southwestward flow along the Kurile Chains. Because, among others, Taguchi (1956) has stated on the basis of current bottle surveys that the westward current turns south at points in the south and southeast off Kamchatka. The southwestward current along the Kurile Chains appears to be considerably distinct. For in July 1954 the R.V. *Tenyo-Maru* observed the surface current running southwest at about 0.5 knot at a position calculated from her fixes and dead reckoning to be 49° 29′N and 158° 00′E. This current flows down south until it meets the Kuroshio warm water system located sometimes in the east of Hokkaido and sometimes in the Northeast Sea Region. There it veers east

and continues to flow eastward with major meanders, forming a great temperature gradient with the Kuroshio Extension running in parallel on the southern side.

These chains of the current on the upper layer in the Western Subarctic Region

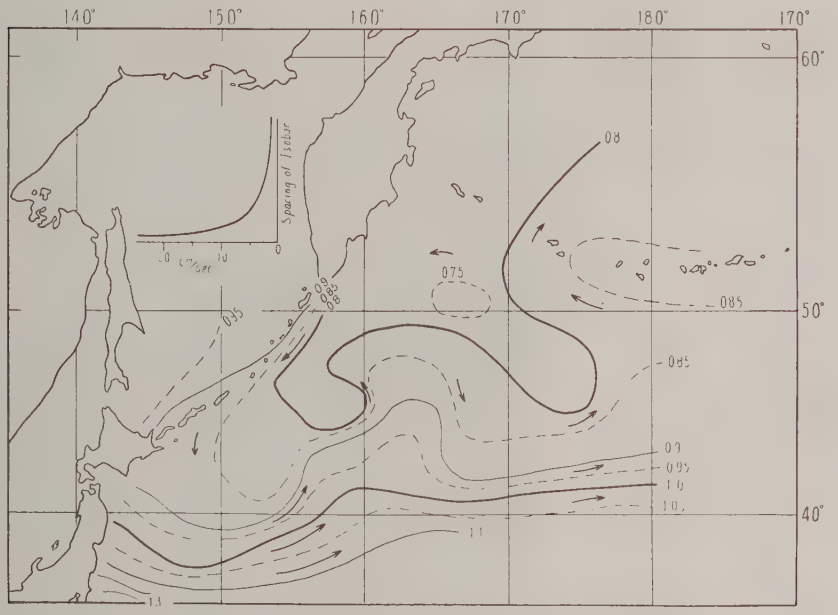


Fig. 6*a*. The dynamic topography of ΔD at a depth of 10 m in spring based on the reference level of 800m.

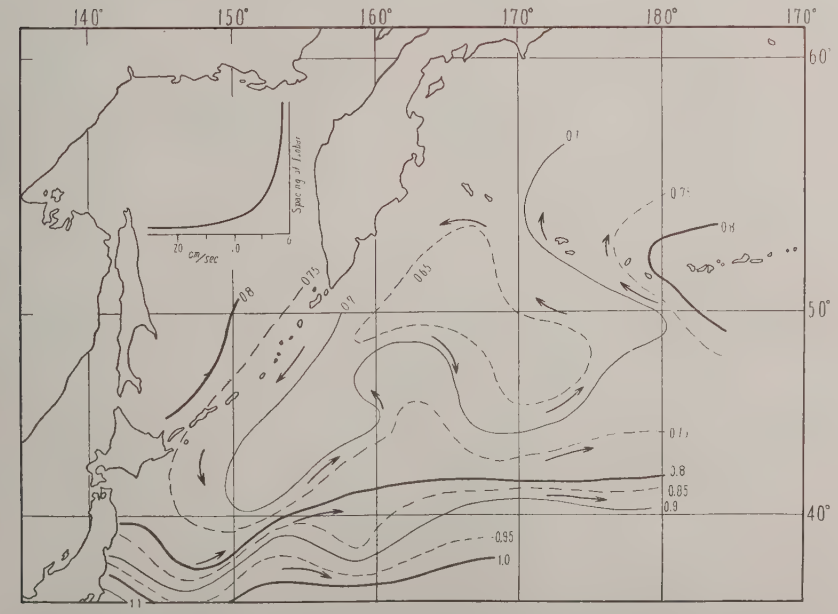


Fig. 6*b*. The dynamic topography of ΔD at a depth of 100 m in spring based on the reference level of 800 m.

are considered to represent one half of the general circulation of the Subarctic water. Inside the loop of the current there exists C water which forms a great counter-clockwise gyre moving slowly with its center in the vicinity of 50 N and 165°E. This general circulation in the Western Subarctic seems, at least in the north of latitude

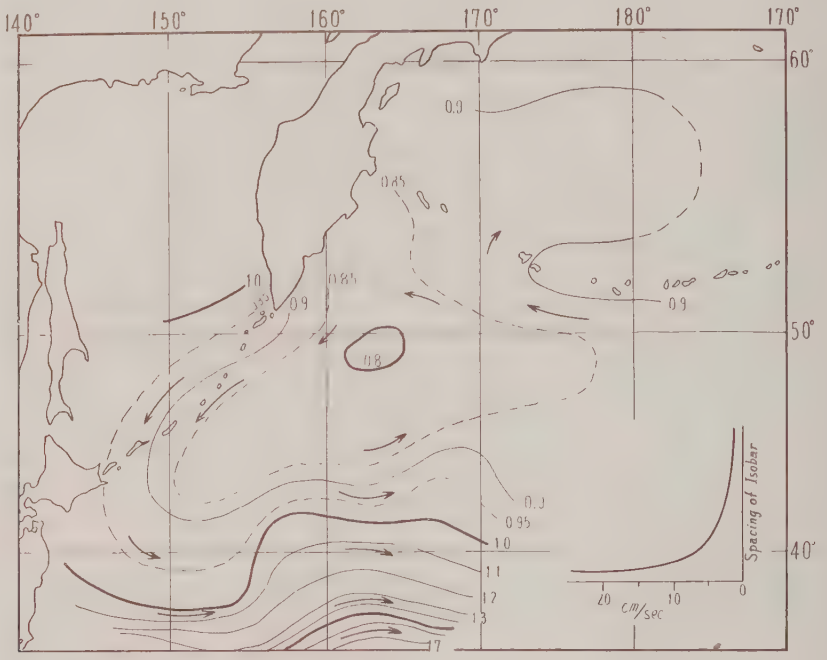


Fig. 7*a*. The dynamic topography of ΔD at a depth of 10 m in summer based on the reference level of 800m.

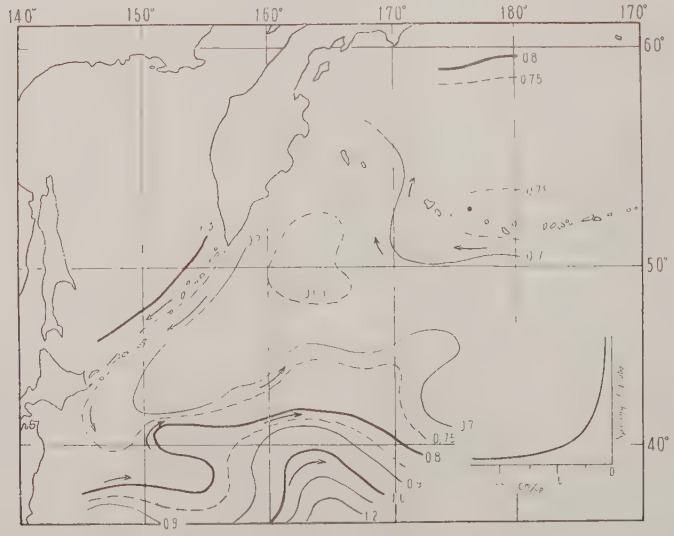


Fig. 7*b*. The dynamic topography of ΔD at a depth of 100 m in summer based on the reference level of 800 m.

40°N, to be the circulation of the Subarctic water itself in summer as well as in spring. For these reasons it may not be reasonable to assert that the relatively warm water on the surface in the Western Subarctic is originated from the Kuroshio or its counter current in summer (Taguchi, 1957).

The author believes that the energy supplied to the current system mentioned above may be perhaps given by the Kuroshio current system situated in its southern side and by the large wind system prevailing on the Subarctic Region. Dynamics governing the Subarctic Region are important problems that should be discussed in the future.

On the other hand, the water entering the Bering Sea through the Aleutian Chains shows a pattern flowing eastward along the northern side of the west Aleutian Islands. In Figs. 7*a-b* showing the features of summer, a counterclockwise gyre moving very slowly in the Bering Sea is suggested. In regard to the eastern part of the Bering Sea LaFond *et al* (1952) prepared a detailed report, and Tully *et al* (1957) another based on the data of NORPAC and other programs. Beside the gyre of C water mentioned above, one or two more gyres are suggested in the east off the central and south Kurile Islands, the area which consists of O water flowing out through the south Kurile and a mixing area between O and C waters (M*d* water area, Hirano, 1957*a*) with complicated interactions among them that perhaps vary from year to year.

Although, to discuss about these gyres in more detail would be boyond of a limit of accuracy shown in the present charts, the descriptions made so far seem, on the whole, to warrant enough support for the estimation given to the distributions and formations of the Subarctic water in the previous papers (Hirano, 1957*a*, *b*).

5. On the Transport

Concerning the transport of the North Pacific a schematic picture is available in the *Oceans*. When compared with the above descriptions, however, the Western Subarctic Region in the picture may be needed retouching to some extent. With this view in mind, the author has prepared Fig. 8 to show a modified picture based on some volumes of transport computed from the present data as well as the water movement mentioned above. Since the data comprise only those in spring and summer, the patterns for autumn and winter are left obscure, however. Moreover, the pattern in the frontal zone nearly along lat. 40° N where the cold and warm waters contact with one another seems to be too complex to draw a more detailed picture of the transport from the present limit of data. This warrants necessity of further effort for advancing oceanographic researches on the neighborhood of that frontal zone. For reference, those points where current bottles had been released by the survey team in summer of 1954 (Hirano, 1957*a*) and where they had been recovered were made entry into Fig. 8 according to the recoveries reported so far.

6. Summary

On the basis of the data obtained in the Northwestern Pacific available for some years during 1929 to 1954, over-all patterns of horizontal distributions of oceanographic

Fig. 8. Modified transport chart of the North Pacific. The lines with arrows indicate the approximate direction of the transport above 1500 meters (after Sverdrup) or 800 meters (after Hirano), and the inserted numbers indicate the transported volumes in millions of cubic meters per second. Thick dashed lines show Subarctic currents (or cold currents) retouched by the author. Thin dashed lines showing cold currents, full-drawn lines warm currents, are after Sverdrup. Marks ▲, ●, ■ and △, ○, _ respectively represent those points where current bottles had been released in the 1954 survey, and where they were recovered, on the date specified.

properties including temperature, salinity and ΔD in spring and summer have been prepared. In addition the temperature on the upper 100 m layer that changed from spring to summer has been discussed. In consequence, we have been able to obtain the general information on distributions of temperature and salinity as well as the flows and their circulations in the region for these seasons.

1. A body of water having relatively high temperature and low salinity flows westward along the southern coast of the Aleutian Chains. Part of the water goes into the Bering Sea through the west of the Aleutian Islands—mainly through the area between Attu Island and the Komandorskie Islands. Another and perhaps the major part of the water proceeds still westward until it turns southwestward at the southeast off Kamchatka. The major water, while part of it enters the Okhotsk Sea through the north Kurile Islands, appears to join with the current flowing along the Kurile Chains.

2. The current veers east at the east off Hokkaido. Along the westside of the current, another body of water, probably a branch of O water system that comes out through the south Kurile from the Okhotsk Sea, flows down still southward till it reaches the Northeast Sea Region of Japan. There the water contacts with the Kuroshio and turns eastward while mixing with the latter. These two eastward currents flow into the Eastern Subarctic Region. A chain of the currents mentioned in paragraph 1 and here is considered to represent the general pattern of the Subarctic circulation in the western Region.

3. Inside the loop of the currents there exists C water which forms a great counterclockwise gyre moving slowly with its center in the vicinity of lat. 50°N, long. 165°E.

4. In the spring months one or two more gyres smaller than the above are likely located inside the loop east of the central and south Kurile Islands. One of them corresponds to the area of O water flowing out through the south Kurile and the other to the mixing area between O and C waters.

5. In the summer months a counterclockwise gyre moving very slowly in the Bering Sea is suggested. Its detail, however, remains to be seen because of a limited amount of the data.

6. Rise in the temperature from spring to summer, though it varies depending on locality, is about 6.3°C on the average over the whole region. According to Taguchi (1957) and Watanabe (1953) the rising on the surface is likely originated from the Kuroshio warm water. However, there are indications that make this estimation look doubtful—for instance, the temperature and saliniy at a depth of 100 m hardly change throughout the seasons under study ; the surface salinities in summer are somewhat lower than in spring ; the general circulation in the Western Subarctic seems to form the Subarctic water itself. For these reasons it is thought that the water itself remains in the area from spring to summer without appreciable change in general locality, and that the heating on the surface is possibly resulted from the insolation during the seasons. This phenomenon is especially announced in

the vicinity of the southeastern coast off Kamchatka and the south off the Komandorskie Islands, revealing that the turbulences in these areas, if any, are very small.

7. Judging from the temperature on the upper 100m layer changing from spring to summer, it seems reasonable to estimate that the vertical eddy conductivity in the region ranges $1 \sim 10$ C.G.S., and that the heating advection exists along the southern coast of the Aleutian Chains, while the cooling advection in the vicinity of lat. 43° N.

8. In accordance with the above descriptions, the transport chart of the region has been prepared by retouching the one in *the Oceans*.

Acknowledgement: In conclusion, the author expresses his hearty thanks to Dr. M. Uda, professor of Tokyo University of Fisheries, Mr. N. Watanabe, Chief of the Oceanographic Section, Tokai Regional Fisheries Research Laboratory, and Dr. Y. Saito, assistant professor of Tokyo University of Fisheries for their constant encouragements and valuable advices. He also is indebted to Captain S. Sakai of the R.V. *Tenyo-Maru* and her crews for their cooperations given to him during the surveys. Mr. M. Ishida of the Laboratory gave the author assistance in preparing the manuscript.

References

Association of the Agricultural Technics, 1954: Oceanographic data in the Northern Waters of the North Pacific.

Barnes, C.A. and T.G. Thompson, 1938: Physical and chemical investigations in Bering Sea and portions of the North Pacific Ocean. *Univ. Washington Pub. Oceano.* **Vol. 3, No. 2.**

Fleming, R.H., 1955: Review of the Oceanography of the Northern Pacific. *Bulletin* **No 2,** *Internolional North Pacific Fisheries Commission.*

Fukai, R., 1954: On the distribution and variation of nutrient salts in the adjacent waters to the Aleutian Islands in the North Pacific. *Bull. Ch. Soc. Japan.* **Vol. 27, No. 7.**

Hirano, T., 1957*a*; 1957*b*: The oceanographic study on the Subarctic Region of the Northwestern Pacific Ocean……I, II. *Bull. Tokai Reg. Fish. Lab.* **No. 15.**

Kitano, K., 1958: Sea conditions on the Bering Sea and the Aleutian Sea Area. Progress Report I. Hokkaido Reg. Fish. Res. Lab.

LaFond, E.C. and D.W Pritchard, 1952: Physical oceanographic investigations in the eastern Bering and Chukchi Seas during the summer of 1947. *Jour. Mar. Res.* **Vol 11, No 1.**

Maritime Safety Agency, Japan: The result of oceanographic observation in the Northwestern Pacific Ocean

No.3, 1931–1935. *Hydro. Bull.*, **Special Number,** 1950.

Ibid. No.4, 1935–1938. *Hydro. Bull.*, **Special Number,** 1951.

Ibid. No.5, 1938–1941. *Hydro. Bull.*, **Special Number,** 1952.

McDonald, W.F., 1938: "Atlas of climatic charts of the Oceans". U. S. Dep. Agr., Weather Bur., Washington, D.C.

Mishima, S. and S. Nishizawa, 1955: Report on hydrographic investigations in Aleutian water and the southern Bering Sea in the early summer of 1953 and 1954. *Bull. Faculty Hokkaido Univ.*, **Vol. 6, No. 2.**

Nasu, K., 1957: Oceanographic conditions of the whaling grounds in the waters adjacent to Aleutian Islands and the Bering Sea in summer of 1955. *Sci. Rep. Whales. Res. Inst.* **No. 12.**

Sverdrup, H.U. *et al.*, 1946: "The Oceans". Prentice-Hall, Inc., New York.

Sverdrup, H.U. *et al.*, 1944: Scientific Result of Cruise VII of the Carnegie during 1928-1929. *Carnegie Instit. Wash. Pub.* 545.

Taguchi, K and Y. Hirose, 1954: Surface currents and oceanographical condition in the Northern Pacific salmon fishing ground. *Bull. Japanese Soc. Sci. Fish.* **Vol. 20, No. 7.**

Taguchi, K., 1955: The movement of water masses in the seas of West Aleutian Islands and off east coast of Kamchatka salmon fishing ground……I. Inference from the distribution of water temperature, water colour and transparency. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.* **Vol. 20, No. 9.**

Taguchi, K. and Y. Shoji, 1955: The movement of water masses in the sea of West Aleutian Islands and off east coast of Kamchatka salmon fishing ground……II. Inference after observation by the current meters in two layers. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **Vol. 20, No. 9.**

Taguchi, K., 1956: A report of drift-bottle surveys off Kamchatka, USSR in 1940 and 1941. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **Vol. 22, No. 7.**

———, 1956: The seasonal variation of the good fishing area of salmon and the movements of water masses in the waters of Western North Pacific……I. Distribution and movement of water masses. *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **Vol. 22, No. 9.**

———, 1957: The seasonal variation of the good fishing area of salmon and the movements of water masses in the Waters of Western North Pacific……III. Relation between the distribution of salmon population and oceanographical condition mainly in the southern waters of 48°N. Lat. *Bull. Jap. Sco. Sci. Fish.*, **Vol. 22, No. 10.**

Tully, J. P. and A. J. Dodimead, 1957: Progress report, Canadian oceanographic research in the North Pacific Ocean. Fish. Res. Board of Canada. **File No. 7-20-6.**

Uda, M., 1955: Researches on the fluctuation of the North Pacific circulation. I. The fluctuation of Oyasiwo current in relation to the atomospheric circulation and to the distribution of the dichothermal waters in the North Pacific Ocean. *Records Ocean. Works. Japan*, **Vol. 2, No. 2.**

Watanabe, N., 1953: Oceanographic report in the salmon fishing ground of the North Pacific Ocean by the R.V. *Tenyo-Maru*, during May-July, 1952. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.

Yoshiwara, H., 1956: Report on the salmon survey in the Subarctic Sea Region (1956). Nihon Suisan.

北洋の海洋学的研究 III

—春季・夏季に於ける一般海況について—

平野　敏行

要　約

1954 年までに北西太平洋に於て観測された資料を用いて，春季，夏季に於ける水温，塩分，流れ等一般海洋諸要素の平均の水平分布図を作製し，春季から夏季にかけて表層 100 m 以浅に於ける水温の変動状況について検討を加えた。その結果，この海域の春季，夏季に於ける水温，塩分の分布及び流れの状態についてその（平均的な）概要を知る事が出来た。即ち，

1. アリューシャン列島南岸沿いに，比較的高温，低鹹な西に向う流れが存在している。この流れの一部はアリューシャン列島（主としてコマンドルスキー島とアツツ島の間）を抜けて，ベー

リング海に入るが，他の部分は更に西流して，カムチヤツカ南部東南沖を南西流し，その一部は北千島からオホーツク海に入るが，主流は千島列島沿いの流れに連つていると考えられる。

2. 千島列島沿いに南西流する流れは，北海道東沖で，東流に転ずる。この流れの中，特に，千島列島南部をオホーツク海から流出した O water 系のものは，更に南下して三陸沖に達し，黒潮暖流系水と混合しながら東流する。これら東流する流れの大部分は，北東太平洋(Northeastern Subarctic Region)に入つている。以上これら一連の流れは北洋に於ける大循環の西部海域に於ける general pattern と考えられる。

3. この大循環の内部に比較的低温，低鹹な C water が 50°, 165 E 附近を中心にして，反時計廻りの一つの大きな環流を形成している。

4. 又この大循環の内部に，春季には北海道沖及び千島列島東沖に，C water 環流とは別に，一つ或は二つの比較的小規模な環流が存在している事が暗示される。これらの海域は，オホーツク海から流出した O water 及び，O water と C water との混合域 (*Md*) に当つている。

5. [illegible] 資料には、十分な資料が得られなかつたが、[illegible] 海中央部を中心に一つの反時計廻りの環流が想定された。

6. 全般的に春季から夏季にかけて，水温は表面で著しく上昇し，平均して約 6.3°C 上昇している。これは，C water 海域へ，黒潮暖流系水が北上しているという意見（渡辺，田口）もあるが，100m 層水温は，殆んど変化がないこと，及びこの海域に於ける塩分が，融氷水或は降雨の影響か春季よりも夏季の方が低くなつていることから，この水温上昇は表面に於ける天空からの受熱によると推定される。特にこの現象はカムチヤツカ南部東岸，コマンドルスキー島周辺附近が著しく，この海域の水の擾乱及び流動が非常に小さいことを示している。

7. 春季から夏季への 100 m 層以浅に於ける水温変動から，この海域に於ける垂直渦動熱伝導率は 1～10 (C.G.S.) と推定あれ，又アリューシヤン列島南岸沿いに heating advection があり，43°N 附近には cooling advection があることが推定された。

8. 最後に，これら全てを綜合して，この海域の transport chart を作製し，Sverdrup の chart を一部修正した。

On the Identification of Species of *Pinctada* Found Attached to *Pinctada maxima* (Jameson) in the Arafura Sea*

Yoshio Takemura and Takashi Okutani

I. Introduction

The biological study of silver-lip pearl oyster, *Pinctada maxima* (Jameson), in the Arafura Sea is desirable in order to estimate or control the stock. However, the literature yields little concerning the morphology or ecology of juvenile shells of *P. maxima*; therefore, fishermen or other persons concerned often erroneously identify *Pinctada* species when an estimate is made on the population of the young silver-lip.

In an effort to clarify this situation, the present report deals with some key points of distitction of the various species of *Pinctada* found attached to silver-lip pearl oysters commercially collected during the Arafura Sea expeditions carried out during every fishing season between 1953–1957 inclusive.

A revision of Australian species of *Pinctada* has lately appeared (Hynd, 1954) and the general aspect of the species found around Australia is given therein. The study of the present material follows his classification for the most part.

Thanks are extended to Dr. T. Kawana, chief of the Aquiculture Division of the Tokai Regional Fisheries Research Laboratory, for his guidance.

II. Material and Method

The material used in this study were collected mingled with other foulings or benthic animals found on the surface of the silver-lip pearl oysters brought on board by divers. The attached animals from the East fishing ground have already been reported by the present writers (1955). The *Pinctada* specimens treated in this report were gathered by means as described in the previous paper.

The data involved in the present collections are as shown below.

Name of Fishing Ground	Subarea		No. of *Pinctada* collected	Year	Collector
West	NTD	Nos. 7, 9, 10, 14	193	1953	T. Yamane
East	NTD	Nos. 19, 21	70	1954	Y. Takemura
Fuji-gata Bank	NTD	No. 19	96	1953	T. Kawana
Thursday Island	QLD	No. 5	38	1957	Y. Takemura

NTD=Northern Territory Division; QLD=Queensland Division.

* Received Feb. 17, 1958. Contribution A-No. 66 from the Tokai Regional Fisheries Research Laboratory.

As the young specimens were so similar in specific characters, these were identified by comparing them with the adult specimens.

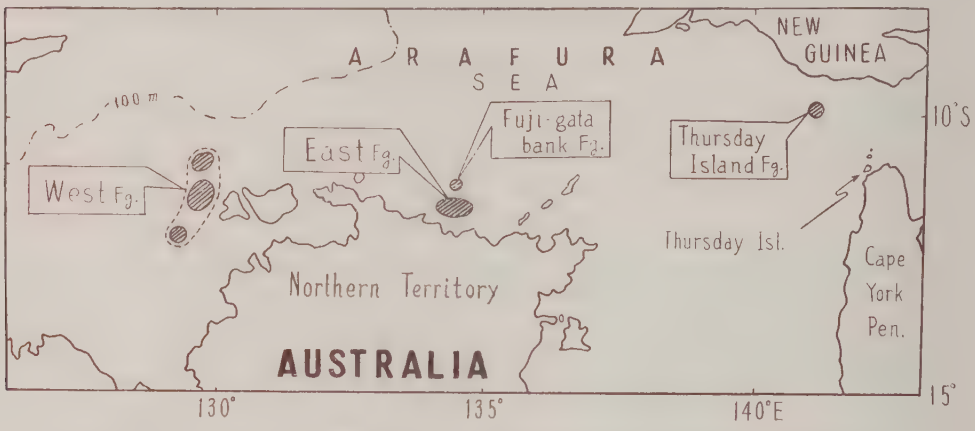


Fig. 1. Showing the positions of the fishing grounds (Fg.) of the silver-lip pearl oyster appearing in the text.

III. Juveniles of *Pinctada maxima* (Jameson)

i) Size of the shell with growth.

Since *Pinctada maxima* was established by Jameson (1901, in Wada 1953), the adult of this species has not been confused with other allied species because of its peculiar outline, the large size of the shell, and the beautiful lustre of the nacreous layer.

Speaking of its size, Iredale (1939) reported the largest from Torres Straits to have been 282 mm in length (height in this paper), 250 mm in width (length), the paired valves weighing 9 lb. 9 oz. According to the observation by the senior author on board, the shells of Fuji-gata Bank are generally larger in size than those of East or West, and the largest from these three fishing grounds (NTD) were about 250 mm in height. While, those from the Thursday Island fishing ground (QLD, Subarea No. 5) were measured 260 270 mm, and a 282 mm-length individual fished at Lat. 9°50′S, Long. 141°10′E was the maximum*. Generally speaking, shells of the Thursday Island area seemed to be growing in more favorable condition and showed damages but less than those of other fishing grounds by such foulings or boring organisms as reported by the present writers (1956). Moreover, from some stations with large quantity of full-grown shells, those having more than 260 mm in height comprised about 8% to the catch.

According to Wada (1953), this species grows to at least 10.8 cm in height a year (at the beginning of the settling stage, it is estimated 0.5 mm in length). Though the adults lie in muddy bottom without attaching, juvenile shells attach by a tuft of byssus to other larger shells, hard bed or 2–3 cm gravel. Those byssus-bearing shells are generally 3 10 cm in length and appropriately called "*chigai*" (attaching juveniles)

* A pair of valve measured 222 mm in nacre height is estimated to be 290 mm in shell height; it is also to be weighing more than 2.7 kg, if it were with non-nacreous marginal part. The specimen is said to be from the Queensland area and under the custody of a Yokohama warehouse.

by the Japanese divers. "*Chigai*" from the Thursday Island fishing ground are much larger than those from other places; a shell of 20.6 cm in height from there was still at that stage observed attaching by a byssus. In this report, such a special case is not treated. Size class composition of *P. maxima* here both biometrically and morphologically treated are, 2.0–3.9 cm..... 3; 4.0–5.9 cm..... 5; 6.0–7.9 cm..... 9; 8.0–9.9 cm..... 11 (total 28 individuals).

ii) External features of juvenile *P. maxima* (JAMESON).

The description of the 2–8 cm-length shell may be given as follows:

Shell thin, fragile; right valve nearly flat; left valve deeper in the central part, and longer at the ventral margin. External surface of the shell generally rough, but smooth at the umbo; yellow ochre with golden tint in background color, but often purple or green in the umbonial region; those shells with colored umboes often with continuous or discontinuous radiating rays of same color running from the umbo to the distal margin. The nacreous layer with strong lustre, feebly golden tinted. The hinge straight. Teeth absent, but around the ligament a very obscure, indefinite tooth-like structure is sometimes found on the right valve. The anterior ear of the right valve considerably larger, triangle in shape, narrowly margined with non-nacreous layer, while that of the left valve tumid but widely margined with non-nacreous layer, and extends a little beyond the right so that the right anterior ear is embraced by the left. The anterior margin of both valves never advances before the anterior tip of the anterior ear. The posterior ear of the right valve very prominent, the outline of the nacreous layer of this area forming an acute angle about 45°, while the left is 60°. Outline of the nacre of the right valve nearly triangular, and the left rather round in the ventral margin. The relative height of the nacre to the entire shell is about 75% in the right valve, 90% in the left. The growth processes on the surface of the shell are concentric and radiate; the larger ones spatulate, with the length nearly equal to half the shell length; the small processes appearing between the larger ones or basal portion of the larger processes generally parallel-sided. The growth processes arranged with interspaces equal to the processes in width in an area from the anterior to the ventral margin, and become irregular in arrangement and decrease their size in the posterior part. The processes of the shells with colored umboes usually with delicate, transverse, equally spaced, curved, brown markings.

Remarks:

With the growth of the mollusk, the shell becomes solid and heavy, and orbicular in outline; both valves approach each other in size and depth, both anterior and posterior ears become relatively smaller, the anterior margin advances a little before the anterior tip of the anterior ear in adult, the posterior margin meets the hinge line at a right or an obtuse angle; the obsolete tooth-like structure around the ligament change into a simple swelling; coloration on the processes apt to become obscure; the processes proportionally smaller, not spatulate but rather truncate or parallel-sided and tapering to blunt ends.

Regarding the teeth of this species, Iredale (1939) states that small shells are provided with teeth, while Hynd (loc. cit.) observed no teeth either in young or in adult shell. In the present material, a very obscure tooth-like swelling or ridge can be sometimes observed in the juvenile shell.

It may be said in this connection that the genus *Pinctada* was subdivided into two groups by Jameson 1901, in Iredale 1939 based upon the presence or absence of the teeth. Iredale stated that *Pinctada* Bolten would apply to the group without teeth and *Perlamater* Schumacher to that with teeth.

IV. *Pinctada* Species Found Attached on *P. maxima* Commercially Collected

i) *P. maxima* (Jameson, 1901)

Some morphological accounts of this species have been given in the foregoing section.

ii) *P. sugillata* (Reeve, 1857)

a) Specific characters

Individuals of this species vary according to the habitat, age and environmental conditions. Hynd (loc. cit.) treated *sugillata* as a subspecies of *P. albina* (Lamarck). But as a result of close examinations on Lamarck's specimens*, he himself stated that *albina* is confusing with *P. sugillata* (Reeve), *P. carchariarum* (Jameson) and even *P. fucata* Gould). Iredale loc. cit.) had suggested that *albina* might be a synonym of *carchariarum*. The present writers agree with Hynd in referring Reeve's *fimbriata*, *irradians*, *chamoides*, *placunoides*, Iredale's *perrutila*, and Dunker's *reeveana* all to synonyms of *sugillata*. Nevertheless, Iredale stated that it would be unwise to allow any more lumping. As mentioned above, *P. sugillata* has a wide variation within the species, and amongst the specimens here treated typical specimens are markedly distinguished as follows:

Shell nearly quadrangular in half or full grown specimens; left valve deeper than the right; ligament short; teeth present, but small; hinge twisted to the right at the

* Concerning to "*Meleagrina albina* Lamarck", Hynd (loc. cit., p. 126–127) stated substantially as follows. As the results of re-examination on Lamarck's material, J.M. Thomson (his colleague) found two boxes of specimens as had been already reported by Lamy (1935, Bull. Mus. Hist. Nat., Paris 2•7). One box was containing two specimens from "Oceanie" (somewhere in the Indo-Pacific area). He considered them to be conspecific with an Australian species hitherto known as *P. sugillata* (Reeve) and *P. carchariarum* (Jameson), on the basis of the notes and photographs supplied by J.S. Thomson for his paper. Another box, marked as "var. *b*", was containing a single specimen from "Nouvelle-Hollande" to be identified as *P. fucata* (Gould). And Hynd, without any reasonable explanation, put *sugillata* and *carchairarum* as subspecies of *Pinctada albina*; so far no species has been accepted to be *Pinctada albina albina*. Furthermore, he stated that he selected thel arger specimen of Lamarck's material (one of the two in the former box) as 'holotype' and that he preferred not to associate it with either subspecies, because the 'holotype' seems to lie within the variation range of both subspecies.

The present authors suggest that his 'holotype' is to be replaced by the "lectotype". And if the said specimen were designated as the lectotype, Jameson's *carchariarum* (or Reeve's *sugillata* as the case may be) should be a synonym of *albina*.

The point whether *sugillata* and "*carchariarum*" are both distinct species or not is to be discussed in the forthcoming section.

anterior ear ; umbonial region of the left valve rather prominently ridged. With the growth of mollusk the posterior margin becomes sinuously curved. Both anterior and posterior ears relatively small ; ventral margin broardly round ; growth processes broard, short, with blund ends, inwardly curved ; processes undulate forming with the interspaces a continuous undulating line and lamellated or fimbriated ; when processes broken off the concentrically raised laminae remain.

In juveniles, laminae rather than the processes are found, while full grown individuals have compactly lamellar projections on ventral margin so that the marginal region is thickened. This species is also characterized by radiating rays of dark purple on the surface of the shell, and the same color pattern is found inside on the non-nacreous area.

b) A suggestive consideration on the type of the shell, *P. carchariarum* (Jameson, 1901) [See also footnote on p. 50]

This species has been distinguished from *sugillata* by such points as summarized from Hynd : Shallow valve, longer hinge, unmarked ventral margin (inside), golden green tint in nacre and generally faint color on the surface. Hynd treated *sugillata* and *carchariarum* as the subspecies of *albina*, and he stated that the differences are not clear-cut and a "cline" exists between the two. In this survey, it becomes eventually clear that they do not show clear-cut subspecific distribution but overlap to a large extent ; two forms of the shell could be recognized from the same area and the same depth, despite Hynd reported that the *carchariarum* type of the shell does not occur in waters more than 2 fathoms in depth (the investigated areas of the fishing grounds in the present study are 20–35 mi n depth for the most part), and Allan (1950) described that this shell is peculiar to Shark's Bay. Though the present writers could point out very typical forms of two out of the specimens here collected, as well as a great many intermediate types they could not find any typological halfway point.

From these, along with the fact that *sugillata* is widely distributed in the Indo-Pacific region, it is suggested that *sugillata* and *carchariarum* are not allopatric form ; and two distinct types of the shell are both ends of the variation range within the species of *sugillata* (this name has precedence over *carchariarum*). The suggestion, though it should be corroborated biometrically, may be also confirmed by the following facts. Typical form of *sugillata* occurrs more frequently in an offing region, the Fuji-gata Bank, than in the East coastal region. In QLD, Thursday Island fishing ground, where silver-lip is growing favorably, the flat and pale-colored type, *carchariarum*, are found more abundantly than *sugillata* type. In the West, on hard bottom or on a bed of coarse material, there occur a good many of obliquely deformed shells*. Shells from this locality are monocolored purple, or red, and whitish spotted ones representing polymorphism. These variable specimens can hardly be identified as either *sugillata* or *carchariarum*. *P. carchariarum* is considered to be a form of *sugillata*. In this connection, it may be worth noting that a varietal form of *sugillata* distributed in the southern

* Such a tendency as the shell becomes oblique is also observed on *P. matgaritifera* that grows on hard bottom. The normal shape of the Pteriid shell is more or less oblique—the posteroventral corner of the shell usually projects. But in this case here concerned, the anteroventral corner of the shell obliquely projects.

shallow water of Japan, vernacular named "*mosuso-akoya*", is the dark colored type but has rather shallow valves.

Collected numbers of individuals of these forms by locality are as follows:

	West	East	Fuji-gata Bank	Thursday Island	Total
sugillata-type	15	3	55	1	74
carchariarum-type	37	38	10	8	93
intermediate (*sug.-car.* complex)	130	24	29	0	183

Among these "intermediate" type shells, some other forms separately described by taxonomists in early days might be contained. For instance, *reevcana*, which is treated as a distinct species by such workers as Allan (loc. cit.), seems to be applied to such oblique shells as are found from West area. Regarding this *sugillatacarchariurn* complex the present authors have not sufficient information to clear up the question except typological consideration as mentioned above. But this hypothetic account must be assured in future, because the present materials were brought from such limited areas under the ristricted conditions, and because the available information on them has been insufficiently referred to at present.

In biometrical treatment, the typical specimens distinguished by such characters as mentioned in preceeding lines are treated under the names of *P. sugillata*, and *P. "carchariarum"* for the convenience of referring to the previous works.

iii) *P. chemnitzi* (Philippi, 1849)

This species is frequently confused with young *P. maxima* in the juvenile period. But it is markedly characterized by distinct teeth, proportionally large ears; especially long posterior ear and postrior sinus are very prominent in half grown specimens. The posterior ear is often separated from other parts of the shell by a shallow groove running from the umbonial region to the sinuous part of the posterior margin. Processes on the shell surface are truncated or sometimes spatulated, and distributed very sparsely with the interspaces equal to, or slightly wider than, the processes in width. Usually no color markings on the processes, but sometimes faint, delicate, whitish transverse markings are found on them. The external color is similar to that of *P. maxima*, but more strongly yellowish tinted, sometimes feebly greenish; juveniles are yellow with brown wavy markings on umbonial region. Iredale's *epithica* is evidently the full grown specimen of this species with distinct posterior ear.

Out of the material here treated, this species was found to occur in the Thursday Island fishing ground in some number, and a few juveniles in the Fuji-gata Bank.

iv) *P. fucata* (Gould, 1850)

This species is distributed even in Japan, and is an allied species of Japanese mother-of-pearl shell, *P. martensii* (Dunker).

Shell deep, oblique; characterized by its crowded processes which are thin, fine, narrow; pointed at the tips, with brown transverse stripes. Only one specimen was found from the Thursday Island fishing ground. As it is a rather common species in

shallow water, this seldom occurs in the investigated depth.

v) *P. maculata* (GOULD, 1850)

This species is characterized externally by the appearance porcellaneous white, variegated, spotted or blotched with dark green or blackish purple; greenish metalic lustre of the nacreous layer; delicate, white and sparsely distributed processes. Only one juvenile specimen was found from Thursday Island fishing ground. (The specimen was not taken from the surface of the silver-lip, and is an intertidal species never occurring in the fishing grounds for the silver-lip.)

vi) *P. margaritifera* (LINNÉ, 1758)

A very young specimen was found in the material from the West. As this species is strongly characterized by its external and internal coloration, and absence of the teeth, it is hardly be confused with other allied species. Especially, in a half or full grown specimen, the anterior border is greatly advanced.

vii) Quantitative consideration on species.

a) Specific occurrence by locality

The number of individuals of the species in the present material is tabulated below. They were all but *P. maculata* found attached on the shells of *P. maxima* taken in the Arafura Sea, most of them comprising both youngs and adults.

	West	East	Fuji-gata Bank	Thursday Island	Total
P. maxima	10	5	—	13	28
P. sugillata	15	3	55	1	74
P. "carchariarum"	37	38	10	8	93
Intermediate (*sug.-car.* complex)	130	24	29	—	183
P. chemnitzi	—	—	2	14	16
P. fucata	—	—	—	1	1
P. maculata	—	—	—	1	1
P. margaritifera	1	—	—	—	1
Total	193	70	96	38	397

There seems to exist no quantitative difference in attached shells (*Pinctada* spp.) between East and West fishing grounds, despite above data showing the difference. This might be caused by failure in examining a part of *sugillata* specimens from East. According to. KAWANA (personal information) they are more abundant in the coastal East fishing ground than in offing Fuji-gata Bank. In the Thursday Island area, they were generally more abundant than in other ground, the senior author observed. But among the latter, a few stations yielded the shells in a larger number than in the former. In East, when they inhabit densely, pearl shells are often assembled in clusters, as in such muddy bottom there are no other hard materials to which *Pinctada* can attach. A similar circumstance of distribution of *Pindtada* was illustrated by HERDMAN (1903, in ALLEE et al., 1951). Generally speaking, pearl shells found from West fishing ground differ in shape due to the hard bottom environment in comparison to those from the East; and Fuji-gata Bank is rather isolated from the other areas not only topographically but also faunistically.

b) Quantitative relation between juvenile *P. maxima* and other allied species.

As reported in the previous paper (Takemura and Okutani, 1955), on the surface of the shell of *P. maxima* from the East fishing ground, 31 individuals of *P. sugillata* were found attached to 367 hosts, while in the Thursday Island fiihing ground, 8 to 834. The occurrence frequency of attaching *P. maxima* to other species found attached to the surface of the adult silver-lips are; West 10 individuals (5.2%), East 5 (7.1%), Fuji-gata bank 0, Thursday Island area 13 34.2% . Among these, numbers of individual from the East seem to have been over-estimated.

It is clear that in the Thursday Island fishing ground, *P. maxima* takes a greater percentage than other species in the attached shells. In the East, *P. maxima* must be proportionally small in percentage compared to other species, because the material was not collected at random except for a part that was numerially treated as mentioned before. Therefore, the rates of *P. maxima* to others found attached on the surface of the adults from the East can be estimated nearly the same with those from the West. No *maxima* was found attached to the adults from the offing Fuji-gata Bank.

V. Keys and Comparisons of *Pinctada* Species

i) Based on conchologial features

The revisions of the *Pinctada* species in Australian waters had been already given by Jameson, Iredale and Hynd in the main. Taxonomic considerations were thoroughly discussed in the above three works and in others.

For the purpose of this paper, to distinguish the juvenile *P. maxima* from other allied species of similar size, only a comparative account is given here based upon distinct characters as enumerated above.

Specific attention may be focused on such points as given below when one deals with specimens of *Pinctada* with similar appearance found attached on the shells of silver-lip pearl oysters in the Arafura Sea. (See Fig. 2)

A) Shape of the shell (especially distinct in right valve, external)
  A1……Obliquely aviculoid.
  A2……Erect, quadrangular to orbicular.

B) Anterior margin, either does or not dose advance before a supposed perpendicular drawn from the anterior tip of the hinge (in nacre of right valve, internal)
  B1……Not advances.
  B2……Anterior margin meets with the perpendicular.
  B3……Advances.

C) Posterior margin and ear (in the right valve, internal)
  C1……Prominent, forming a typical ear.
  C2……Inconspicuous, slightly ear-like.
  C3……Posterior margin meets nearly at a right angle with the hinge.
  C4……Posterior margin sinuously curves and exceeds beyond the posterior end of the tip of the ear.

D) Hinge line (apical view)

D1……Straight
D2……Distinctly twisted to the right at the anterior ear.

E) Shape of the processes.
E1……Thin, narrow pointed at the tips.
E2……Parallel-sided, tapering truncate or blunt ends.
E3……Spatulated.

F) Distribution pattern of the processes.*
F1……Sparcely distributed, with interspaces equal to the processes in width.
F2……Rather lamellated and undulate, forming with the interspaces a continuous undulating line.
F3……Crowded.

G) External and internal coloration, lustre of the nacre, markings on processes.

H) Size when fully grown.

A comparative table based upon above items is given below. In this table, + shows the conspicuousness of the said characteristic, − shows the inconspicuousness, and ~ shows that the said feature can vary by specimen with the growth or owing to the environment.

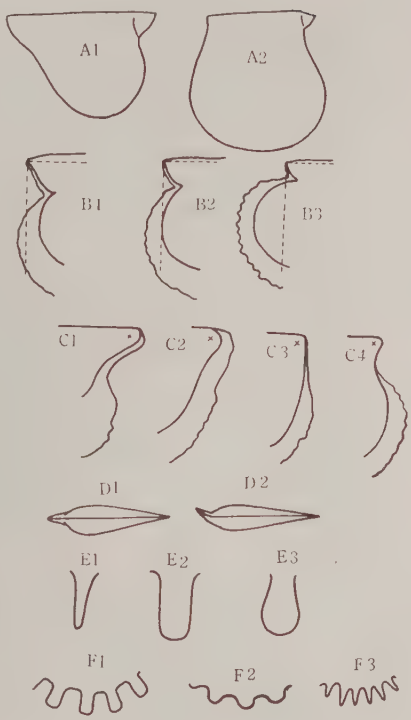


Fig. 2. Diagrammatic drawings of conchological features on *Pinctada*. See text for explanation.

Species	A	B	C	D	E	F	G h	H (height, mm)
maxima juvenile	−A1	B1	−C1 ~C2	D1	E3	F1	Yellow ochre (often with purple or green colored umbo and rays); process with fine, transverse brown color bands.	280
maxima adult	A1~ −A2	B2~ B3	C2 ~C3	D1	E2	F1		
sugillata	A2	B2 ~B3	+C4	D2	E2	F2	Generally dirty yellowish gray with dark purple or reddish rays [shell deep].	100
"carchariarum"	A2	B2 ~B3	+C4	D2	E2	F2	Generally pale yellowish gray with faint brown rays [shell shallow].	
chemnitzi	−A1	B1	+C1	D1	E2~ −E3	F1	Pale yellowish brown or greenish; feebly rayed.	80
fucata	−A2	B1	C4	D1	E1	F3	Red, brown, green, bronze and their complex; process with brown bands.	70
maculata	A2	−B2 ~B3	C3 ~C4	D1	E1	F1	Porcellaneous white with greenish black flecks; nacre metalic	40
margaritifera	A2	+B3	+C3	D1	E2	F1	Greenish or purplish bronze with whitish spots; nacre dark margined	250

* The characterisrics appeared on the growth processes of various *Pinctada* species are illustrated in "The Molluscan Shells" I (illustrated sheets, edited by Oyama, 1957) along with other *Pinctada* specimens from various localities.

As a basis of above table, key to species is given below; in this key, *a*–*e* indicate such specific characters as follows, respectively.

a……Teeth prominent on the right valve.
b……Process often with fine transverse color bands.
c……Generally greenish or purplish bronze in color.
d……Umbonial part rather ridged, shell deep, surface with dark purple or reddish rays.
e……Umbonial part moderately ridged, shell shallow, surface with faint brown rays.

D1					D2 (& F2)	
E1		E2—E3			*sugillata-carchariarum* complex	
F1 (& B3)	F3	C1		C2	*d*	*e*
		B1 (& A1, *a*)	B1—B2 (& *b*)	B3 (& *c*)		
maculata	*fucata*	*chemnitzi*	juvenile) *maxima*	*margaritifera*	*sugillata*	"*carchariarum*"

These formulated expressions may be easily conceived by referring to Fig. 2, and can be applied to other *Pinctada* species; for instance, adult of *P. martensii* (Dunker) may be expressed as A2, B1~B2, C4, D1, E1, F3; and that of *P. shimizuensis* S.K. Wada et R. Wada as A2, B1, C1, D1, E1, –F2.

ii) Biometrical corroboration.

Out of *Pinctada* species mentioned above, the important ones are discussed here in biometrical standpoint. The numbers of measured specimens by species and by locality are as follows.

	West	East	Fuji-gata Bank	Thursday Island	Total
P. maxima	10	5	—	13	28
P. sugillata	—	—	40	—	40
P. "carchariarum"	—	25	—	—	25
Intermediate type (*sug.-car.* complex)	35	—	—	—	35
P. chemnitzi	—	—	2	10	12

They were measured by shell height, shell length, width of the conjoined valve, hinge length, nacreous layer height, nacreous layer length, and weight of the valves. Amongst these, the first four are of use for discernment of the species, *i.e.*, shell height (H: dorsoventral length, exclusive of the length of process on the ventral margin); shell length (L: length from the most advanced part of the anterior margin); width of the conjoined valve (B: measured in slightly wet condition); hinge length (HL: anteropostrior length of the hinge). These measurements are diagrammatically illustrated in Fig. 3.

The relationships between B and HL by species are as follows.

Species / B/HL	*maxima*	*sugillata*	intermediate	*"carchariarum"*	*chemnitzi*
.10—.19	7%				42%
.20—.29	93	15%	17%	56%	58
.30—.39		73	80	44	
.40—.49		12	3		
Main range	.20—.25	.29—.42	.28—.37	.25—.35	.18—.23
			.25—.42		
Mean	.22	.34	.31	.29	.20

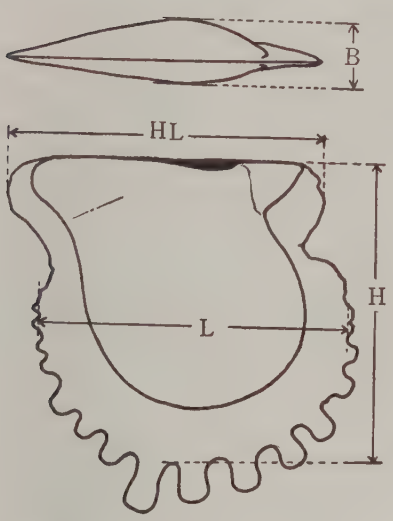


Fig. 3. Diagrammatic drawing showing measurements referred in the text.

As tabulated above, values of B/HL in *maxima* and *chemnitzi* are less than .25, while those in *sugillata* group are more than .25. A similar tendency is also recognized in B/H as shown in figure 4.

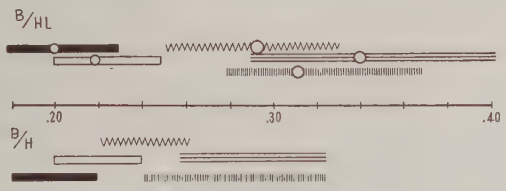


Fig. 4. Showing the variation range in values of B/HL and B/H by species.

P. maxima *P. chemnitzi*
P. sugillata *P. "carchariarum"*
Intermediate (*sug.-car.* complex)
Mean

The relationships between HL and H by species are as follows.

Species / HL/H	*maxima*	*sugillata*	intermediate	*"carchariarum"*	*chemnitzi*
.50— .59		2.5%			
.60— .69		5		4%	
.70— .79	7%	7.5	26%	28	
.80— .89	7	50	43	24	
.90— .99	36	20	23	36	34%
1.00—1.09	39	5	8	8	50
1.10—1.19	4				8
1.20—1.29	7				8
Main range	.9—1.1	.7—1.0	.7—1.0	.7—1.0	1.0—1.1
			.7—1.0		
Mean	.99	.86	.86	.86	1.04

As is shown in above table, values of HL/H in *maxima* and *chemnitzi* are slightly larger than those of *sugillata* group. It may be translated that the both anterior and posterior ears of the formers are surely longer than those of the latters. In addition, the similarity of the values of three types of *sugillata* group suggests that they might not be considered as separate species, as mentioned in foregoing section. Such similarity is also observed in case of HL/L. (Fig. 5).

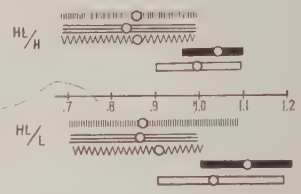


Fig. 5. Showing the variation range in values of HL/H and HL/L by species.
P. maxima
P. chemnitzi
P. sugillata
P. "carchariarum"
Intermediate (*sug.-car.* complex)
Mean

From the biometrical point of view, juvenile *maxima* is rather easily distinguished from *sugillata* group, but not from *chemnitzi*. Consequently discernment of the *Pinctada* species would be difficult but for both conchological and biometrical considerations.

Changes of the shell shape with the growth will be reported in a separate paper dealing with the silver-lip pearl oyster.

VI. Summary

The purpose of this report is to describe key points to the identification of *Pinctada* species for distinguishing the juveniles of *P. maxima* from similar looking allied species that will be found attached to the silver-lip pearl oysters from the Arafura Sea. The materials were from the East, West, Fuji-gata bank and Thursday Island fishing grounds.

As the result of close examination on the present material, the following species were found on the surface of the shells of silver-lips; *P. maxima* (juveniles bearing byssi), *P. sugillata*, *P. "carchariarum"*, *P. chemnitzi*, *P. fucata*, and *P. margaritifera*. None of *P. maculata* was found attached to pearl oysters.

Amongst of them, a hypothetic account is given on the types of the shell, *P. "carchariarum"*, which seems not to be allopatric with *P. sugillata*. *P. sugillata*, *P. "carchariarum"* and *P. chemnitzi* are very similar to juvenile *P. maxima* in appearance, especially in their young period. Moreover, these three are more abundantly occurring than other shallow water forms. Those confusing species are here treated not only conchologically but also biometrically. The difference exists in occurring circumstances by species and by locality.

A comparative table and key to species are given to contribute for further study on the stock of silver-lip pearl oyster in the Arafura Sea.

References

Allan, J.: "Australian Shells", Melbourne, (1950).

Herdman, W.A.: Report of the Government of Ceylon on the pearl oyster fisheries on the Gulf of Manaar (in Allee et al.: "Ecological Animal Geography", New York, 1951) (1903).

Hynd, J.S.: Austr. Jour. Mar. Freshwater Res. **6** (1): 98–137, (1954).

Iredale, T.: Mollusca, pt. 1, Sci. Rep. Great Barrier Reef Exp. **5**, (1939).
Jameson, H.L.: Proc. Zool. Soc. **1**: 372–394 (in Wada, 1953 & in Iredale, 1939), (1901).
Reeve: Conch. Icon., **10** "*Avicula*", (1857).
Takemura, Y. and T. Okutani: Bull. Jap. Soc. Sci. Fish. **21** (2): 92–101, (1955).
Takemura, Y. and T. Okutani: Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab. **14**: 21–27, (1956).
Wada, S.K.: "Biology and Fisheries of the Silver-lip Pearl Oyster", (1953).

アラフラ海産シロチヨウガイの殻表に附着している *Pinctada* 属貝類の識別に就いて

竹村嘉夫・奥谷喬司

要　　約

アラフラ海のシロチヨウガイ *P. maxima* (Jameson) の資源を推定・管理する立場から，漁場に見られる同属の外見上紛わしい貝類とシロチヨウガイの殻高数センチ程度迄の附着稚貝を識別するため，イースト，ウエスト，富士形バンク，木曜島各漁場から採取されたシロチヨウガイ殻表に他の動物と共に附着して揚つて来る貝類について綜述した。各種に就いて識別の特徴を指摘し，特に紛わしい種群については測定学的に裏付けを試みた。

その結果，漁獲されるシロチヨウガイの殻表にはシロチヨウガイ稚貝の他，*P. sugillata* (Reeve) モスソアコヤ及びその近似種 *P.* "*carchariarum* (Jameson)" ならびに *P. chemnitzi* (Philippi) タイワンアオリ，又，稀に *P. fucata* (Gould) ベニコチヨウ，*P. margaritifera* (L.) クロチヨウガイが発見された。中でも *P. sugillata*, *P.* "*carchariarum*" が量的には大部分を占めている。*P. maculata* (Gould) ミドリコチヨウはシロチヨウガイ殻表からは見出されなかつた。

中でもシロチヨウガイと紛わしい *P. sugillata* 及び *P.* "*carchariarum*" はその中間移行型が多く，この間に(亜)種的な差は認め難い暗示を得た。又，*P. chemnitzi* はシロチヨウガイの若い貝と識別は極めて紛わしい。他の種類はシロチヨウガイは漁場に於いては非常に少なく，且つ識別も容易である。漁場によつては出現種群は異つている。

Pinctada 属の上にのべた種類の特徴によつて比較表を示し，今後の研究上一助になるべく検索を作製した。それによつてシロチヨウガイ殻表から発見される *Pinctada* 属貝類の識別はほぼ下のようにして可能である。

a¹ 蝶交線は前耳部において強く右方に曲る。
　b¹ 殻は一般に深く，左殻頂附近は峯立つ。通常濃紫色の放射帯がある。
　　……*sugillata* モスソアコヤ
　b² 殻は一般に浅く，平たい。色は一体にうすく，茶赤色の放射帯がある。
　　……"*carchariarum*"

a² 蝶交線は真直ぐ，時に微かに右方に曲る。
　c¹ 鱗片状突起が細くて先が尖る。
　　d¹ 突起は密に生え，通常褐色の横縞がある。殻はやや傾く。……*fucata* ベニコチヨウ
　　d² 突起は疎らに生え小さく，通常白色。殻は四角く，直珠層は黄緑色が強い。
　　……*maculata* ミドリコチヨウ
　c² 鱗片状突起は幅広く，時に篦状。

e[1] 右殻に歯を認め，後耳は長い。鱗片状突起はきわめて疎に生える。通常色斑がない。
……*chemnitzi* タイワンアオリ

e[2] 歯はなく，後耳は比較的著るしくない。

f[1] 後耳は全くない，殻色は紫黒色乃至緑黒色。鱗片に縞はない。前縁はよく脹れる。
……*margaritifera* クロチョウガイ

f[2] 後耳あり，殻色は地色暗褐，時に殻頂部に[illegible]色の色[illegible]あり 通常鱗片状突起に紫褐色の横縞がある。……*maxima* シロチョウガイ

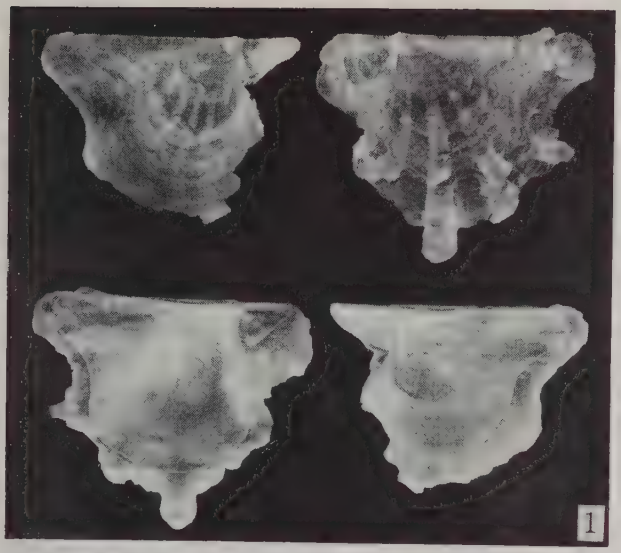
図　　版
PLATES

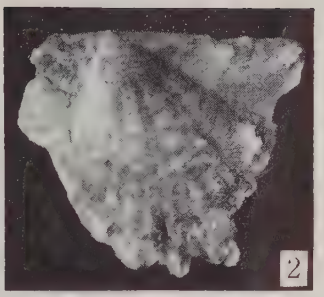
Plate I.

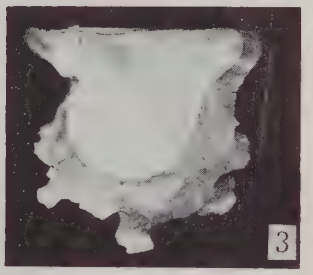
Figs. 1—7. *Pinctada maxima* (Jameson)

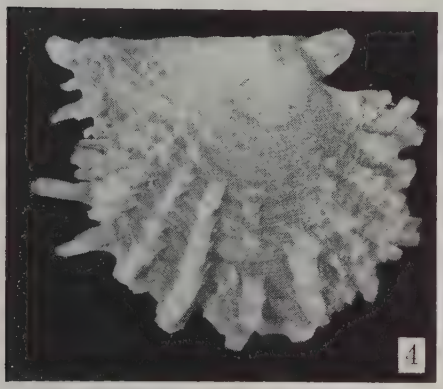
1. A juvenile from the East fishing ground; 25 mm in height.
2. The left valve of a juvenile from the Thursday Island fishing ground; 48 mm in height.
3. Internal view of the right valve of a juvenile from the East fishing ground; 33 mm in height.
4. The right valve of a half grown shell, with no color markings on the surface, from the Thursday Island fishing ground; 80 mm in height.
5. The left valve of a half grown shell from the Thursday Island fishing ground; 84 mm in height.
6. Showing characteristic color pattern on the growth processes, the same specimen with Pl. I, Fig. 3.
7. Showing the series of wavy color-markings appeared on the shell in Pl. I, Fig. 2; enlarged.

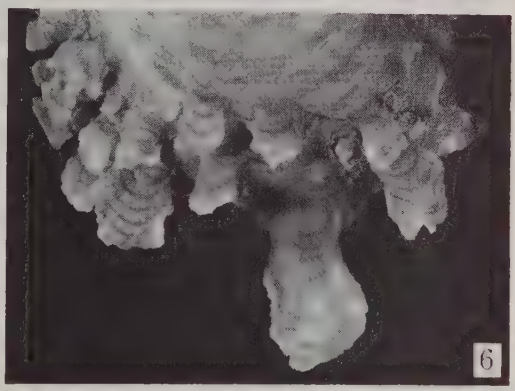
Plate I.











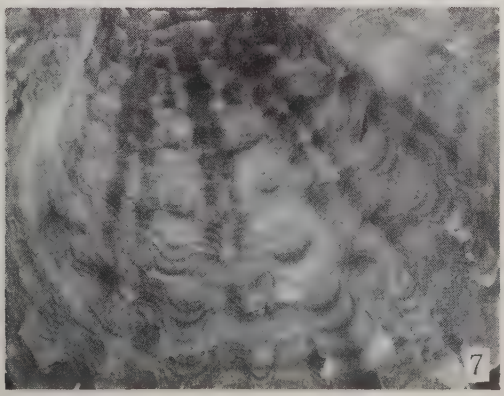


Plate II.

Figs. 1—3. *Pinctada sugillata* (Reeve)

1. A juvenile from the Fuji-gata Bank ; 42 mm in height.
2. A very typical specimen from the Fuji-gata Bank ; 58 mm in height. Note dark color rays on the surface.
3. The right valve of an obliquely deformed specimen from the West fishing ground ; 41 mm in height.

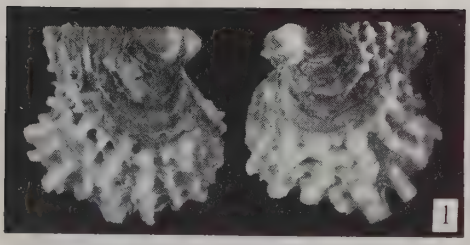
Fig. 4. The right valve of a typical specimen of *P. "carchariarum* (Jameson)" from the East fishing ground ; 75 mm in height.

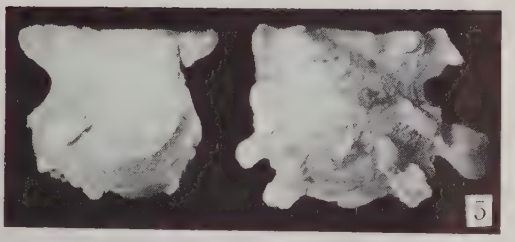
Figs. 5—7. *Pinctada chemnitzi* (Philippi)

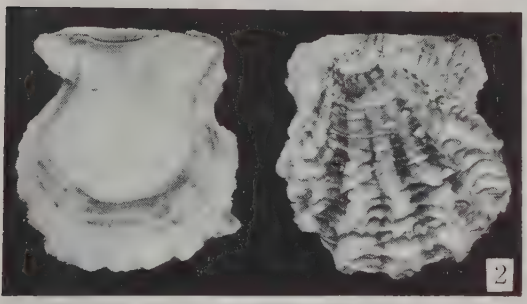
5. A juvenile from the Fuji-gata Bank ; 25 mm in height.
6. The left valve of a half grown specimen from the Thursday Island fishing ground ; 46 mm in height.
7. A half grown specimen from the Thursday Island fishing ground ; 45 mm in height.

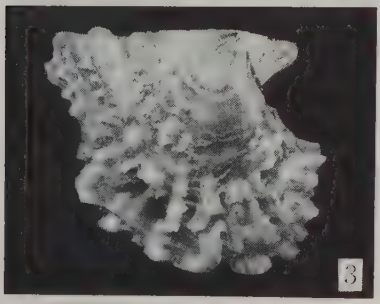
Fig. 8. A juvenile of *Pinctada margaritifera* (Linné) from the West fishing ground ; 35 mm in height.

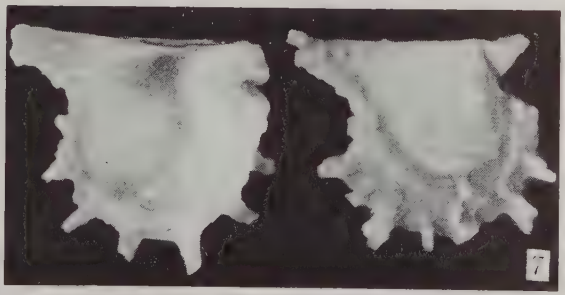
Plate II.

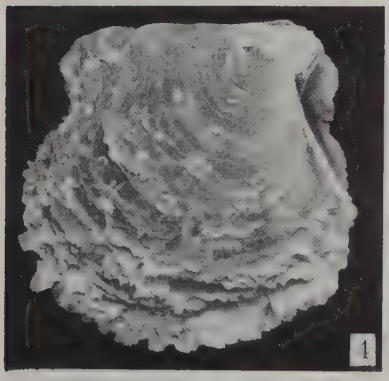












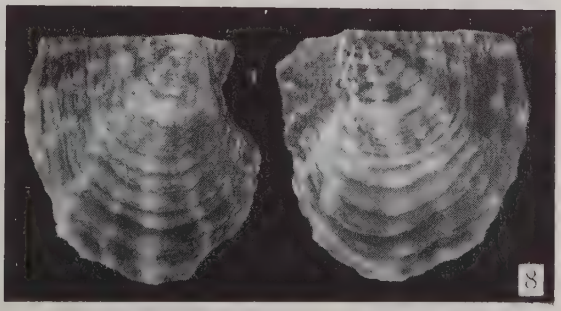


Plate III.

Figs. 1—3. Various coloration in the umbonial region of *Pinctada maxima* (Jameson).

1. A specimen with no color marking; from the East fishing ground; 140 mm in height.
2. A specimen with the purple umbo; from the East fishing ground; 135 mm in height.
3. A specimen with color rays running from the umbo to the distal margin; from the East fishing ground; 115 mm in height.

Figs. 4—6. Comparisons of the teeth on the right valve.

4. *Pinctada maxima* (Jameson); the same specimen with Pl. I, Fig. 2 (no teeth).
5. *Pinctada sugillata* (Reeve); from the West fishing ground, 49 mm in height. Note the teeth.
6. *Pinctada chemnitzi* (Philippi); the seme specimen with Pl. II, Fig. 7. Note the teeth.

Figs. 7—9. Comparisons of thickness from apical view.

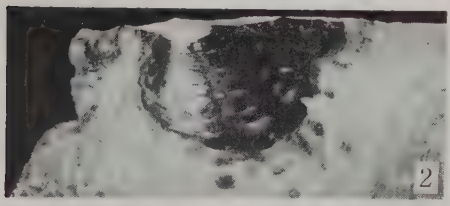
7. *Pinctada maxima* (Jameson); the same specimen with Pl. I, Fig. 1.
8. *Pinctada sugillata* (Reeve); from the West fishing ground; 31 mm in height.
9. *Pinctada chemnitzi* (Philippi); from the Thursday Island fishing ground; 40 mm in height.

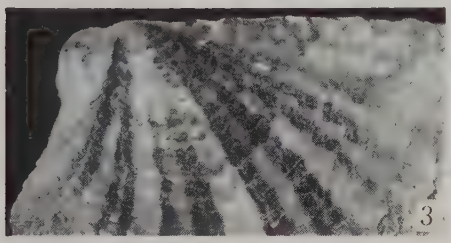
Figs. 10—13. Comparisons of the shape of anterior and posterior ears of juvenile specimens of *P. maxima* and *P. sugillata*.

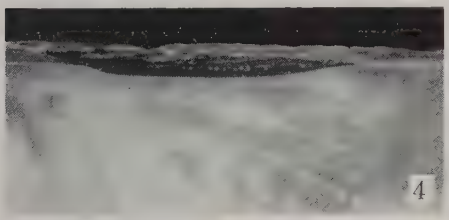
10, 12. *Pinctada maxima* (Jameson); the same specimen with Pl. I, Fig. 1.

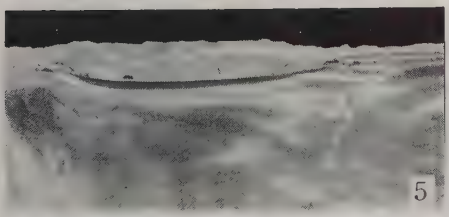
11, 13. *Pinctada sugillata* (Reeve); the same specimen with Pl. III, Fig. 8.

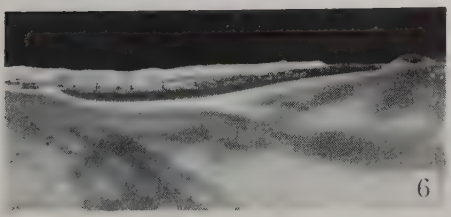
Plate III.

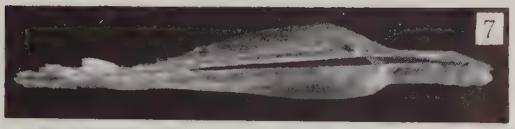


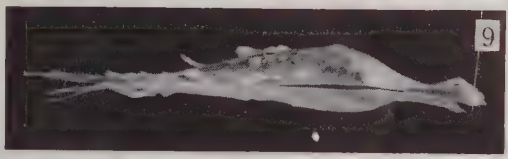


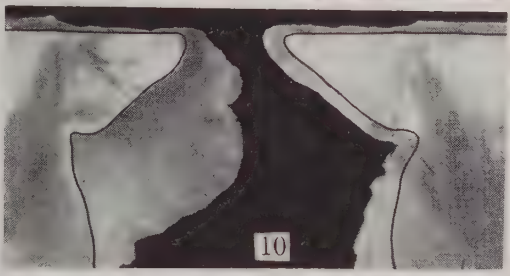


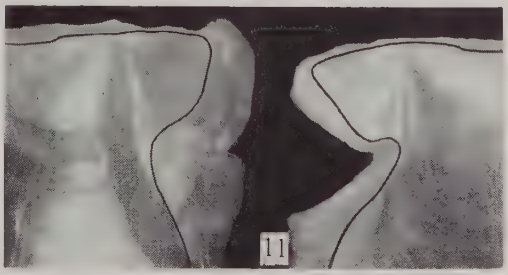












多脂肪カタクチイワシによる煮干の製造について*

金田 尚志・石井 清之助

I. 緒　　言

近年カタクチイワシ（以下カタクチという）の産額は著しく増加し，年間9,000万貫ないし1億貫水揚げされ，この量はあらゆる魚種のうち首位を占めることは衆知の通りである　このカタクチの利用状況を見るに，その大部分は煮干に加工されているが，カタクチは季節的に多量の油脂を含むため，こうしたものは煮干原料となし得ず，養鶏飼料，肥料等として安価に取引きされている。また煮干しとされているもののなかにも油脂含量がかなり多く，油焼を生ずるものは無脂肪物に比し $\frac{1}{8}$ 程度の価格で販売されているのが現状である。

筆者等は含油量が多いため煮干製品となし得ないもの，ないしは煮干にしても油焼を生じ味が悪く，安価に取引きされているものより無脂肪物と同程度の製品を製造し，漁業者，加工業者の利益を計りたいと考えた。また煮干中に含まれる油脂は出汁の味を低下せしめ，栄養価も低く，全く利用されていない故，この油脂を経済的に利用せんとした。

以上のような筆者等の考えを実現するには多脂肪の生鮮魚または製了した煮干しより油脂を除去する以外に方法はなく，また除去した油脂が出来るだけ未変化な状態であることが望ましい。

従来，煮干の脱脂に関しては殆んど報告がなく，僅かに参考となるのはフイツシユ・ミールの脱脂に関するものがある程度である。即ち，富士川[1]はイワシ・ミールを各種溶剤を用いて脱脂したところ，94% エチル・アルコール最もよく，ベンゾール，トリクロールエチレン，アセトン，ガソリン，四塩化炭素等は同程度の抽出力を有するが，エチルアルコールよりは一段劣るとし，Kolchev等[2]は溶剤処理時のフイツシユ・ミールの水分量はベンジンを使用する際は24～27%がよく，8～12% の水分量ではかえつて悪いとした。また鈴木等[3]は液体炭酸を用いて低温で乾燥した魚肉は脱脂，脱臭されるという。なお最近はジユール熱を利用し加熱後圧搾により部分的に脱脂したサンマ，イワシ等を削り節原料とすることが実際に行われている。

筆者等は油脂含量の多いカタクチより製した煮干を溶剤抽出により脱脂すれば，油焼を生ぜず，美味な出汁がとれ，しかも分離した油脂が利用できるのではないかと考えた。そこで，各種溶剤を用いて煮干の脱脂を試みたところ，ベンゾール抽出が最も効果的であることを認め，さらに原料カタクチに予め防酸化剤を添加しておくと，溶剤処理後の製品の外観がよく，また分離した油脂の変敗度が少いことを認めた。

II. 実　験　の　部

1.　各種溶剤による油脂の抽出

供試品：東京都中央卸売市場より入手したカタクチを3% 食塩水中で5分煮熟後日乾したものを使用した。

本試料に各種溶剤を4倍量加え3日間放置後，溶剤を濾別し，煮干中に残存する溶剤を生蒸気を吹込んで除き，第1表の如き結果を得た。

本結果を見るにヘキサン，石油エーテルを使用したものは脱脂効果はよかつたが，煮干製造過程に生じた油焼の着色部分を除く力が弱いため，多少焼けた感じの製品となつた。またベンゾール，メタノール混液を使用すると製品の焼けは除けるが，製品中の水分がメタノールへ移り，含水メタ

* 1958年4月22日受理　東海区水産研究所業績A第67号

第1表 煮干イワシより各種溶剤による油脂の抽出

溶剤名	粗脂肪収量 (%)	脱脂後の煮干の性状
ベンゾール	12.7	良
ヘキサン	13.9	多少油焼が残る
石油エーテル	14.0	多少油焼が残る
ベンゾール，メタノール8:2混液	13.8	良

ノールとベンゾールは二層に分れるため，メタノールの回収が効果的に行えず，経済的でない。これに対し，ベンゾールのみを用いた場合は脱脂能力が高く，しかも製品の焼けた部分をもかなり抽出するため好結果を得た。

なお外観的な差は生じても，溶剤で処理した煮干はいずれも含有油が除かれるため，美味で澄んだ出汁が得られた。一方，対照として用いた溶剤抽出を行わぬ煮干は出汁の上層に油脂が浮遊し，出汁は濁り，不快臭を伴い，不味であつた。

III. 防酸化剤添加試験

前試験において煮干油の抽出にはベンゾールが適当であることを認めたが，ベンゾール処理は製造直後の煮干に対し有効であり，製造後貯蔵日数を経たものはベンゾールを用いて抽出しても既に生成した油焼を完全に除くことは困難である。また抽出した油脂は酸化が進み，これを利用し難い。

そこで原料煮干に防酸化剤を加え，可及的含有油が変敗することを防止しつつ製品としたものをベンゾールで抽出した。

即ち，煮熟時に煮沸液の 1/5000 量の Butylated hydroxyanisol (B.H.A.) エタノール溶液を加え，製了後の含有油の性状を検討した。その結果，第2表に示すごとく B.H.A. を添加したものは無添加のものに較べかなり油脂の変敗が防止された。しかし製造後30日を経たものは B.H.A. を添加してもいくぶん油焼を生ずるため，ベンゾール抽出はなるべく早期に行うことが望ましい。

第2表 煮干含有油の貯蔵中における変化

試料油	製造後の日数	粗脂肪 %	酸価	沃素価	過酸化物価 (M.M./kg)
原油(煮取油)	0		8.3	165.0	
無添加(対照)	3日	13.2	3.1	131.6	232
	15日	16.9	10.7	92.4	1762
	30日	21.0	10.6	80.5	1417
B.H.A. 添加	3日	18.01	3.5	144.4	514
	15日	18.3	4.5	126.9	1177
	30日	19.5	6.5	118.8	1020

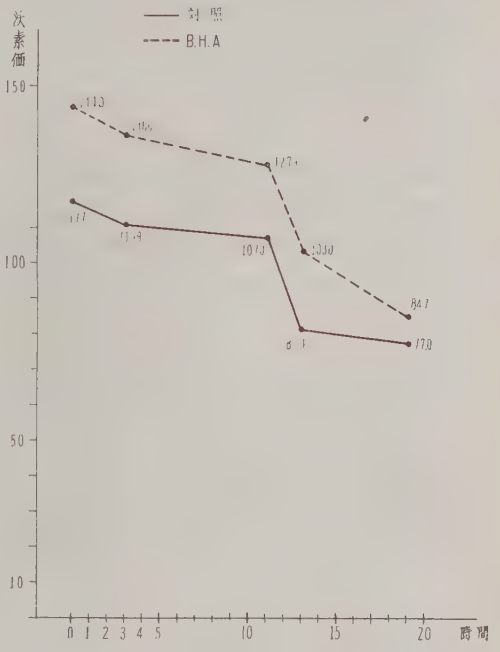
なお，この際注意を要することは，前記のごとく抽出終了後煮干中に残存するベンゾールを完全に除去するため生蒸気を吹きこみ加熱する必要があるが，ベンゾール抽出が不完全で煮干中に粗脂肪が残存すると，これが煮干しの表面に薄く附着し，速かに酸化されることである。

即ち，こうしたものを生蒸気に当てると煮干は一瞬にして油焼同様の着色物となつてしまう。

これは小幡[4]，野中[5]等が認めている「魚油の油焼は魚油が自動酸化の結果アルデヒドを生じ，これに塩基性物質が結合するため起るという説に従つて考えると，薄膜となつて煮干の表面についた油脂中にアルデヒドが生じ，これに煮干中の揮発性塩基が生蒸気により急速に蒸発し，結合するためと考えられる。

ベンゾール抽出を行つた煮干の表面は白つぽい感じのものとなるがこれは生蒸気を当てることにより普通の状態にもどる。

つぎに煮干から，ベンゾール抽出により分離した油脂をなんら処理することなくフラスコに入れ，ラネー触媒を用いて 160～180°C で水素添加を行つた。その結果は第1図の如くであるが，本試験は試料油が少く，キツプの装置によりゆるやかに水素を吹込んだため，触媒を十分油中に分散させることができず，しかも試料油をアルカリまたは白土等により精製していないため，満足すべき結果とはならなかつた。しかし，油脂化学の常識より判断するに水添前に精製を行えば硬化は可能であり，十分食用油として利用し得るものと考える。



第 1 図　煮干し抽出油水添結果

IV. 考　　察

以上の結果により従来煮干となし得なかつた含油量の多いカタクチイワシからも防酸化剤を加えて煮干を製造後ベンゾールを用いて含有油を抽出分離すれば良質の煮干となし得ることが明らかとなつた。また抽出した油脂も防酸化剤の添加により悪変を起さず，一般魚油同様の用途に供し得るといえる。

カタクチは含油量の多い時期に多獲されるが，本法を適用すれば従来商品価格の極めて乏しかつた含油量の多いカタクチが有効に利用でき，良質煮干と魚油が新たに量産し得る見込が成立つた。しかし，煮干の溶剤抽出を産業的に成立せしめるには慎重な配慮が必要である。即ち，カタクチの含油量は季節的に変化するため，本法を適用せずとも従来通りの方法で煮干を製造し得るものが多く，この際，操業の停止ということが大きな問題となる。この問題を解決するには地域による煮干含油量の変化を詳細に調査し，原料の集荷を広範囲に行い，さらに原料のない期間には含油量の多い削り節の脱脂*等を併用することなどが必要であろう。

このような計画の上にたてば年間を通じての操業は可能であると考える。

なお煮干をベンゾール抽出する際の装置は従来のバツチ式抽出装置では製品を破損する恐れがあるため煮干の抽出に適した装置を考案する必要がある。

* 筆者等に含油量の多いサバ節を本試験同様ベンゾール抽出により脱脂し，多脂肪物の欠点である削り節の粉末化が相当防止され，出汁は澄んで美味となることを認めている。(未発表)

Nitrogen content of proteins was assumed to be 16%.

Total muscle proteins: One gram of muscle was minced with ~0.2 g. of quartz sand, being suspended in 40 m*l*. of water. The protein was coagulated by adding trichloroacetic acid to 5%, and the centrifuged protein was washed with 5% trichloroacetic acid, and subjected to semi-micro Kjeldahl analysis.

Streaming birefringence SB: For detection of SB, an apparatus[7] constructed by the instruction of Prof. N. Sata was used. This apparatus is composed of a pair of crossed Nicols 20 mm. in diameter, and a rotary bench on which a small beaker containing the sample liquid is placed. Although it was devised for qualitative purpose, the author succeeded in comparing the relative intensity of SB by observing the patterns of SB of a series of solutions of varying protein concentrations obtained by twofold serial dilutions. The patterns of SB were classified into the following three stages:

SB +; a distinct cross appears,

±; bright area and dark one are moving like a cluster of clouds, but do not form into a distinct cross,

−; the field remains dark.

In SB data on a series of twofold dilution of a given solution, the minimum protein concentrations which produced + and ± patterns respectively were recorded as the measure of the intensity of SB of the given solution. The intensity of SB is inversely related to the minimum concentration for any stage of the SB patterns.

Results

(A) Extractability and the ratio of the amount of extractant and muscle

In order to find the adequate conditions for effectively extracting muscle proteins by a single extraction, squid muscle was extracted by varying ratios of water/muscle (*v./w.*).

As Fig. 1 shows, the extractability of squid muscle increased with the increase of ratio, water/muscle, while those of flatfish and horse mackerel muscles kept a constant value for each fish when the ratio was raised beyond 10.

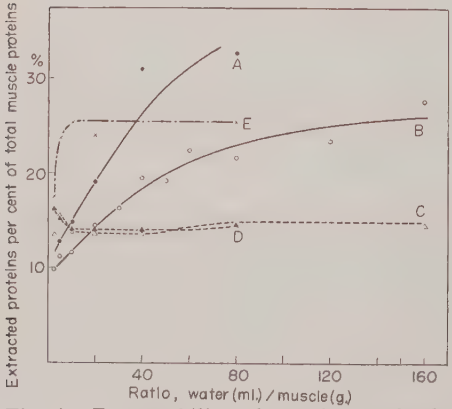


Fig. 1. Extractability of muscle proteins by single extraction with various amounts of water.
A: Squid, Sept.;
B: Squid, Oct.;
C: Flatfish, April;
D: Flatfish, Oct.;
E: Horse mackerel, Sept.

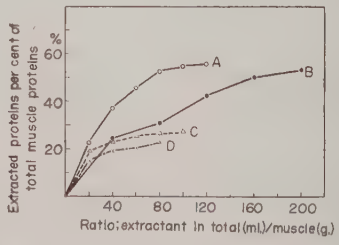


Fig. 2. Extractability of muscle proteins of squid and fishes on repeated extractions with water.
A: Squid, Nov.;
B: Squid, Feb.;
C: Carp, Dec.;
D: Horse mackerel, May.

(B) Repeated extractions

On the basis of the preceding experiment, the repeated extractions of muscle proteins with water of 10 times or 20 times the amount of muscle were tried, giving rise to Fig. 2. While it was suggested in the case of carp, horse mackerel and flatfish, that 2 or 3 times extractions may suffice to exhaust the water-soluble proteins, in squid muscle it was shown that a considerable amount of proteins is extracted in every extraction and the total extracted proteins by 5~6 times extraction amounted as much as beyond 50% of total muscle proteins.

Since an interesting phenomenon was found by Okada *et al.*[7] that SB was found in the aqueous extracts of squid muscle, SB was tested on these extracts. As Table 1 shows, the extracts of squid showed SB except those in the beginning and in the final of the repeated extractions, while none of the extracts of tested fishes did show SB. If the extracts of squid muscle obtained by varying ratios of water/muscle were tested for SB, SB was faintly found in the extracts obtained by the large ratios (~80).

Table 1. Development of SB in aqueous extracts of muscles of squid and fishes

Extract	SB				Protein concentration (mg./ml.)			
	Squid a	Squid b	Carp	Horse mackerel	Squid a	Squid b	Carp	Horse mackerel
S_1	−	−	−	−	1.83	0.99	1.79	1.27
S_2	±	−	−	−	1.09	0.24	0.46	0.27
S_3	+	±	−	−	0.79	0.50	0.16	0.01
S_4	+	+	−	−	0.56	0.30	0.13	0.02
S_5	+	−	−		0.20	0.10	0.06	
S_6	−				0.06			
Water/Muscle	20	40	20	20				
Season	Dec.	Dec.	Dec.	May.				

In the repeated extractions, another characteristic of squid was found with regard to the pattern of sediments after centrifuging the extracts. As shown in Fig. 3, the extraction residue of the first extract of squid was relatively compact and separatable from the supernatant, while those of the second and the following extracts appeared to be composed of a bulk of translucent gruel-like paste (C-phase of Fig. 3) and of a small amount of white fibrous sediments (B-phase) which is possibly derived from the stroma. A superficial part of C-phase appeard to pass gradually into a dense suspension (D-phase) which, on decantation, flowed out with the last part of the supernatant. During the repeated extractions the volume of C-phase

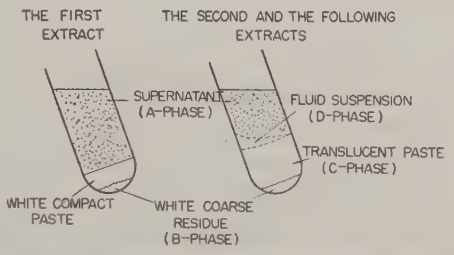


Fig. 3. Patterns of the contents of centrifuging tube after centrifugation of the aqueous extracts of squid muscle.

decreased extraction by extraction, resulting in by far smaller volume compared with that of the first and the second extractions.

On the other hand, the extraction residues of fish muscles was always rather compact and sharply separatable from the supernatant. Though a soft pasty phase corresponding to C phase of squid was obtained, it was white and less transparent, and appeared less swollen and less soft.

While the first extracts of both squid and fishes were turbid, the appearance of the second and the later extracts were distinct. These extracts of squid were not turbid but faintly opaque and fine silk-like glimmer were observed if they were examined by sidelight. The second and the later extracts of fishes were neither opaque nor of such characteristic glimmer.

Discussion

The present data suggest that squid muscle is distinct from fish muscles regarding to the following properties:

As it is shown in Figs. 1 and 2, the water soluble proteins of fishes seem to have been extracted to a considerable extent by single extraction regardless to the ratio of water/muscle, and almost all of them might be extracted by 2 or 3 times repeated extractions. These facts might suggest that a definite amount of the water-soluble fraction exists in the fish muscles. On the contrary, the amount of water-soluble proteins of squid muscle changed with the ratio of water/muscle, and with the repetition of extraction, increased beyond 50% of total muscle proteins. If the last value would have been the true amount of the water-soluble fraction, the first extract should contain as little as 40% of this fraction. These data might suggest that there is no definite amount of water-soluble fraction in the muscle but the amount changes depending on the extraction conditions.

It is interesting that the aqueous extract of squid showed SB, which suggests the presence of some asymmetric macromolecule in a dissolved or dispersed state.

Among the muscle proteins, those which have been known to be asymmetric are globulins such as myosin, actomyosin etc. However, these globulins do not dissolve in water and so the present data is a strange one.

When examined in detail, SB was found not in the first extract but in the second and later extracts. Moreover, the protein concentrations of S_2 and S_3 were rather low compared with that of S_1 as shown in Table 1. Hence, not all the water-soluble proteins might be streaming birefringent, but those extracted in the second and later extracts might be streaming birefringent in property and asymmetric in shape.

At any rate, it was suggested that in squid muscle, a water-soluble or water-dispersible protein which is asymmetric is contained and dissolves out gradually by aqueous extraction. That a considerable amount of protein was extracted in the first extract at high ratios of water/muscle, and SB was found there, might suggest that this asymmetric protein might be extracted also into the first extract in proper conditions.

The known asymmetric muscle proteins are myosins or myosin fractions[2)3)4)]* such as myosin, actomyosin etc. These proteins are glubulins which are dissolved in salt-solution and precipitate by dilution, and none of them has been known to be extractable by direct extraction of fresh muscle with water. Therefore, a question arose "is it any component of the myosins of squid muscle which is so characteristic that it is extracted with water and shows SB in the aqueous extracts?"

Part II The streaming birefringent proteins of aqueous extracts

In Part I, it was suggested that some asymmetric proteins such as myosins might be dissolved or dispersed in the aqueous extracts of squid muscle.

As far as known on muscle proteins of rabbit and carp[2)3)4)], myosins are not extracted with water but with salt-solution, precipitated from the salt-extract by dilution or dialysis, and separated hereby from albumins or non-myosins. Therefore, any clue to the above question that myosins of squid might be dissolved in the aqueous extracts appeared to be given, if the amounts of myosins and non-myosions of squid muscle were determined and compared with that of the water-soluble proteins.

While the presence of myosins in the aqueous extracts was strongly supported by intense SB of these extracts, the myosins derived from the squid salt extract showed also intense SB. Hence, comparing the SB intensity of aqueous extracts and myosins appeared to serve to elucidate the nature of the streaming birefringent protein in the aqueous extracts.

Experimental

Methods

Extraction and fractionation: The following procedure was used which was based on the principles of Smith[8)] and Dyer *et al.*[9)] with some modifications. Minced muscle was extracted with salt solution of 20 times of its amount (*v./w.*) for 10 min. using a baffle-plated hand-made blendor[5)] under cooling with ice-water bath. After centrifuging for 20 min. at 4,000 r.p.m. (1,500~2,800 *g*), the extract (*L*) was obtained. To an aliquot of the extract (*L*), cold distilled water was added and it was diluted to 0.05 ionic strength (*I*), and pH being adjusted to 6.5. After one night cold storage, the precipitate collected by centrifugation for 30 min. at 4,000 r.p.m. was estimated as myosins (*M*). The amount of non-myosins (*N*) was calculated from $L-M=N$, where the amount of each fraction was expressed as percentage to total muscle proteins. The used extractants are described in Table 2.

* At the present stage of research, it seems adequate to refer to structual muscle globulins as myosins or myosin fraction, as Hamoir[4)] did, without differenciating myosin (proper), and actomyosin etc., and to refer to sarcoplasmic proteins as non-myosins or non-myosin fractions including myogens, myoalbumin and globulin X.

Table 2. Amounts of myosins and non-myosins in salt-extracts of squid and fishes

Animal	Extractant			Extracted proteins (*L*) (%)	Non-myosins (*N*) (%)	Myosins (*M*) (%)	pH of precipitation*	Sample muscle		
	Salt	Ionic strength (*I*)	pH					pH	Total protein (%)	Season
Squid	KCl+$KHCO_3$	1.0+0.02	7.5	76	22	54	6.7	6.5	14.2	June
	KCl+phosphate	0.85+0.15	7.2	72	20	52	6.6	6.0	14.7	June
	KCl+phosphate	0.45+0.15	7.5	50	12	38	6.5	6.4	15.2	Jan.
	NaCl+$NaHCO_3$	0.86+0.02	7.2	77	14	63	7.0	6.1	14.3	Nov.
Carp	KCl+$KHCO_3$	1.0+0.02	7.3	84	23	61	6.5	7.2	17.8	June
	KCl+phosphate	0.85+0.15	7.2	87	25	62	6.3	6.8	16.6	June
Horse mackerel	KCl+$KHCO_3$	1.0+0.02	7.7	89	23	66	7.2	6.1	17.2	May
	KCl+phosphate	0.85+0.15	7.2	90	21	69	6.5	6.1	18.9	July
Flatfish	KCl+$KHCO_3$	1.0+0.02	8.5	45	18	27	7.4	6.4	19.7	April
	KCl+phosphate	0.85+0.15	7.3	91	24	67	6.5	6.4	19.7	July

* pH value determined after equilibration.

Results

(A) Fractionation of salt-extracts of squid and fishes

Analysis of squid muscle by the above method resulted in Table 2. For reference, data on carp, horse mackerel and flatfish were listed in the same table.

Though a considerable amount of myosins might be left in the extraction residue, non-myosins appear to be completely brought in the extract* and estimated with a considerable accuracy.

If the amount of non-myosins was compared among squid and fishes, difference was not marked. Nevertheless. if the relationship between the water-soluble proteins in Part I and non-myosins for each kind of animal was compared as Fig. 4, a significant distinction was found between squid and fishes. Since, in the case of each fish, the amount of water-soluble proteins was equal to that

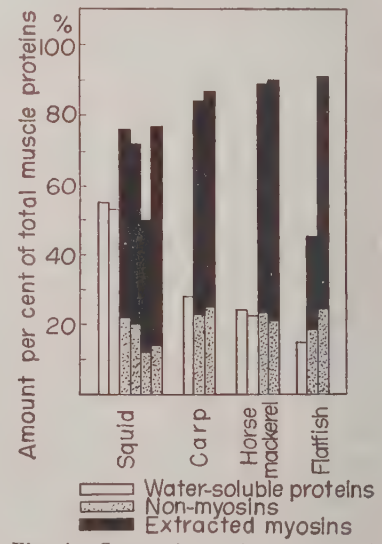


Fig. 4. Comparison of amounts of water-soluble proteins and non-myosins.
The true value of water-soluble proteins of flatfish might be a little larger than the present value which was obtained by single extraction.

* The reason for this judgement will be discussed elsewhere.

of non-myosins within experimental error, it is probable that both of these two fractions are composed of the very same protein fraction of muscle, *i.e.* albumins plus globulin X which compose sacroplasmic proteins. On the other hand, the amount of water-soluble proteins of squid is by far greater than that of non-myosins. This consequense might support the assumption proposed in Part I that a considerable amount of myosins of squid muscle was extracted with water.

(B) Comparison of SB of different fractions

In order to confirm that the streaming birefringent protein in aqueous extracts of squid muscle is identical with the myosins derived from salt-extract, the second aqueous extract, S_2, and the myosins suspension were compared as regards the SB intensity (Table 3). The myosins used here were precipitated at 0.1 M KCl by dilution of 1.0 M KCl extract of squid muscle, and suspended in distilled water. The yields of the respective fractions to total muscle proteins were 21% for the first aqueous extract (S_1), 13% for the second (S_2), 72% for the KCl-extract (L), and 65% for myosins (M).

Table 3. Appearance of SB of the aqueous extract and suspension of myosins of squid muscle as regards the protein concentration and effects of inorganic salts

Diluent / Sample	The 2nd aqueous extract					Myosins suspended in H_2O				
	Concn.*	H_2O	KCl 1 M	LiCl 1 M	$MgCl_2$ 1/2 M	Concn.*	H_2O	KCl 1 M	LiCl 1 M	$MgCl_2$ 1/2 M
Initial solution	0.99	+				4.7	+			
× 2	0.50	+	−	−	−	2.3	+	+	+	+
× 4	0.25	±	−	−	−	1.2	+	+	±	−
× 8	0.12	−	−	−	−	0.58	+	±	−	−
×16						0.29	+	−	−	−
×32						0.14	±	−		
×64						0.07	−			

* mg. proteins/m*l*.
Season of experiment, Jan.

If it was reflected that the evaluation method of SB is not highly quantitative but provides a relative measure of intensity, the data of Table 3 show that the second aqueous extract (S_2) and myosins (M) were of the comparable order as far as the minimum protein concentrations for SB are concerned if they were diluted with water. However if they were diluted with salt solutions, SB of S_2 disappeared quickly and SB of myosins was depressed markedly. Therefore the identity of the streaming birefringent protein contained in the aqueous extracts and myosins of squid seemed likely.

(C) Difference in stability of some protein fractions against centrifugation

In the preceding study supporting the identity of the water-soluble proteins and myosins, the following question was left undissolved. While the aqueous extracts were obtained as the supernatant of the centrifugation by 4,000 r.p.m. for 20 min., myosins which was diluted with water deposited very easily, *e.g.* by centrifugation for 3,000 r.p.m. for 5 min., leaving a clear supernatant which neither contains protein nor shows SB.

So, the identity of the proteins contained in these two fractions was doubtful. Nevertheless, it was thought out that there is a difference in the history of these two fractions, *i.e.*, the proteins in the aqueous extracts had not contacted with salts except those of the physiological media in muscle, while myosins were extracted with salt solutions. For C-phase of Fig. 3 appeared to correspond to myosins which composed the greater part of muscle proteins, this phase was spooned out and suspended in water. The suspension showed intense SB which was stable against centrifugation. On the other hand, the C phase was dissolved in 1 M KCl almost completely, and 77~92% of the protein of this phase was estimated as myosins by dilution method.

These data might suggest that the difference in stability against centrifugation of the above two fractions is not essential but is due to history of the protein with regard to the contact with salt solutions of higher concentrations.

(D) Behavior of water-soluble proteins of squid in various salt concentrations

In the preceding experiment, it was suggested that the dissolution or dispersion behavior of water-soluble proteins of squid are affected by the contact with salts. So the stability of the proteins of some aqueous extracts and suspension of C-phase was tested at various salt concentrations, by plotting the protein concentration of the supernatant obtained by centrifugation after a night standing.

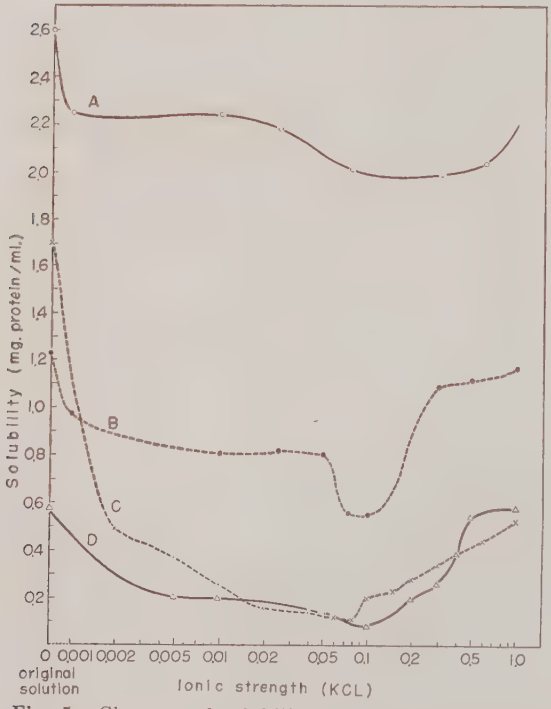


Fig. 5. Changes of solubility of the water-soluble proteins of squid muscle at various concentrations of KCl.
Curve A: The first extract, at pH ~6.4;
Curve B: The second extract, at pH 6.5~6.7;
Curve C: Mixture of the third and the fourth extracts, at pH 6.7~7.0;
Curve D: Aqueous suspension of C-phase, at pH 6.0~6.4.

As Fig. 5 shows, the tested samples behaved similarly in showing a solubility minimum between 0.002~0.1 ionic strength. In other words, the proteins which were dissolved or dispersed in water deposited in the presense of a small amount of salt, and were kept in solution if the salt concentration was raised. The latter stage may correspond to "salting-in".

The curves in Fig. 5 show that the most part of the proteins in S_3, S_4 and C-phase deposited at a critical salt concentration, while only a small amount of S_1 precipitated there, proving the albuminous nature of the bulk of pro-

teins in S_1. S_2 appears an intermediate between these two extremes. If it was reflected that S_2, S_3 and C-phase were intensely streaming birefringent whereas S_1 is not or hardly so, such a solubility behavior with a valley at intermediate salt concentrations seems a property of the streaming birefringent protein contained in aqueous extracts of squid muscle. So this appears a property of myosins of squid or of a part of it which is extracted in water.

Discussion

The results of the present experiment support that the streaming birefringent protein of aqueous extracts of squid is identical with myosins or one of its homologues. Then it will be asked why the myosins of squid were extracted into water. In the repeated extractions of squid muscle with water, usually SB was found not in the first extract (S_1) but in the second, (S_2) or later extracts (S_3, S_4 etc.). In these cases, the ionic strength of S_1 will depend on the extent of dilution of the salts contained in fresh muscle with the extracting water, but it will not be very small, while the ionic strengths of S_2 and S_3 etc. will be by far smaller because the amount of residual salts will not be so much. This was proved experimentally as shown in Table 4. In connection with Fig. 5, these data suggest that myosins of squid did not dissolve in S_1 the ionic strength of which was near the ionic strength of the minimum solubility, while they dissolved in S_2 where the ionic strength was shifted far to the lower side of the minimum solubility. It may be explained by similar consequense that the extractability increases with the ratio of water/muscle as Fig. 1.

Table 4. Ash content and SB of aqueous extracts of squid and carp muscles

Animal	Extract	Ratio (water/muscle)	SB	Extracted proteins (mg./ml.)	Ash (%)	Ionic strength*	Season
Squid	S_1	10	−	3.4	0.12	0.019	Nov.
	S_2	10	+	1.6	0.04	0.006	
Carp	S_1	20	−	1.8	0.03	0.005	Dec.
	S_2	20	−	0.46	0.002	0.0004	

* Calculated by assuming the ash as NaCl.

On the other hand, no SB was found in both S_1 and S_2 of carp muscle, whereas the ionic strength of these extract were rather lower than those of squid extracts. This suggests that myosins, or proteins of myosin fraction, of squid are not identical in nature with myosins of carp.

From the solubility behaviors of Fig. 5, one might discuss to which protein of myosins the streaming birefringent protein in the aqueous extracts will belong. Firstly, it appears similar to crystalline myosin of Szent-Györgyi[10] in that both of them disperse in water, deposit in the presence of trace amount of salt, and dissolve again if the ionic strength is raised, However, that the protein of squid is extracted with water from fresh muscle, is a marked distinct point. Secondly, as far as it is known with the rabbit muscle proteins, myosin (chrystalline myosin or myosin proper) shows salting-

in at 0.04～0.3 ionic strength, and actomyosin shows it beyond 0.3 ionic strength. Except Curve A, Curves of Fig. 5 shows solubility increase between 0.1～1.0 ionic strength. Hence it is thought that both myosin (proper) and actomyosin are present in the aqueous extracts and C-phase of squid muscle.

Summary

1) With the intention to extract and estimate albumins of squid muscle, the squid muscle was extracted with water at various extraction conditions. The extractability of squid muscle proteins with water varied with extraction, and was considerably large, exceeding 50% of total muscle proteins.

2) On repeated extractions of squid muscle with water, the second and the later extracts showed streaming birefringence, which suggested the presence of some asymmetric proteins such as myosins in a dissolved or dispersed state.

3) To elucidate the nature of the streaming birefringent protein of the aqueous extracts of squid muscle, the salt extract of squid muscle was fractionated, the amount of non-myosins being estimated and compared with that of water-soluble proteins. While the water soluble proteins and non-myosins of fishes such as carp, horse mackerel and flatfish were equal in amount within the experimental error, the amount of the water-soluble proteins of squid (~50%) was by far greater than that of non-myosins (12～22%). From this fact, it was suggested that a part of myosins of squid are extracted in water, showing SB.

4) From comparison of the SB intensity and of the effect of salt solutions on SB, the identity of the steaming birefringent protein of aqueous extracts and myosins derived from salt extract was inferred.

5) The solubility of the streaming birefringent proteins of aqueous extracts was found to change with ionic strength. The solubility showed a minimum near 0.1 ionic strength, and salting-in phenomenon at higher ionic strengths.

From the solubility -ionic strength curve, the presence of both myosin (proper) and actomyosin was suggested.

6) It was discussed that extraction of the streaming birefringent protein of squid is closely related to ionic strength of the extract.

The author is indebted to Dr. M. Migita for his invaluable advice, to Prof. S. Mizushima for his encouragement, to Prof. N. Sata for giving us the information on streaming birefringence apparatus, and to Mrs. T. Saishu for her technical assistance.

References

1) Tanaka, T.: *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.*, **20**, 77～89 (1958).
2) Weber, H.H. and Portzehl, H.: Advances in Protein Chemistry, **7**, 161～247 (1952).
3) Bailey, K.: "The Proteins", Vol. II, Part B, Academic Press, New York (1954) p. 951～1055.
4) Hamoir, G.: "The Biochemistry of Fish", Cambridge Univ. Press, Cambridge (1951) 8～27.
5) Matsumoto, J.J.: *J. Jap. Chem*, **9**, 202～3 (1955).
6) Matsumoto, J.J. and Kanamitsu, T.: *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **21**, 284～8 (1955).
7) Okada, M. and Tada, S.: *Ibid.*, **20**, 224～34 (1954).
8) Smith, E.D. Bate-,: *J. Soc. Chem. Ind.*, (1934) 351～4 T.

9) Dyer, W.T., French, H.V. and Snow, J.M.: *J. Fish. Res. Bd. Canada*, **7**, 585～93 (1950).
10) Szent-Györgyi, A.: "Chemistry of Muscular Contraction", Academic Press, New York, (1947).

イカ肉の水溶性蛋白質に関する諸知見

松　本　重　一　郎

要　　約

イカ肉は我国に於ける重要な水産資源であるが，その肉質は独特であつて畜肉はもちろん魚肉の肉質とも著しく異つている。この肉質の特性は組織構造が相違すること[1]にも関係しているであろうが，主に肉蛋白の組成と個々の蛋白の性状とに於ける特性にもとづくものと考えられたので，これを明らかにするためにスルメイカ肉について一連の研究を企てた。

まずイカ肉のアルブミンを抽出しそれの肉中に於ける量を定量する目的でイカ肉を水で抽出したが，溶出した蛋白の肉中全蛋白に対する百分比は不定であつて条件によつて著しく異り，抽出時の水(m*l*.)/肉(g.)の比が大きいときに大きく (Fig. 1)，かつ抽出残渣の再抽出をくり返すと溶出量が増し，多いときには 50% を超えることが認められた (Fig. 2)。これに反し，コイ，マアジ，ヒラメ肉では水に溶出する蛋白の量が抽出条件にかかわらず各々の魚種についてはほぼ一定であつた。更に興味深いことにはイカ肉のくりかえし水抽出に際して通常2回目からの抽出液には流動複屈折 (SB) が認められ，ミオシンの如き非対称性の蛋白が水中に溶解していることが示唆された。しかるに他の魚肉の水抽出液には SB が認められなかつた (Table 1)。

イカ肉の水抽出液中で SB を示すものがミオシンであるか否かを確かめるために，イカ肉の塩類抽出液の分劃定量によつて非ミオシン区蛋白を定量し，さきの水溶性蛋白の量と比較した (Table 2, Fig. 4)。対照としたコイ，マアジ，ヒラメの肉では水溶性蛋白と非ミオシン区蛋白とがほぼ等量 (18～28%) であつて，ミオゲン，ミオアルブミン，グロブリンX の如き非ミオシン区蛋白のみが水抽出液に溶出したことが示唆された。しかるにイカ肉では水溶性蛋白 (>50%) に比べ非ミオシン区蛋白がそれより遙かに少なかつたから (12～22%)，イカ肉のこの水溶性蛋白の中にはミオシン区蛋白の一部が含まれていることが示唆された。

次に半定量的な判定法によつてイカ肉水抽出液の SB の強さと KCl 抽出液から導かれたミオシン区蛋白の SB の強さを比較し，かつそれに及ぼす各種無機塩類の阻害作用を比較した結果 (Table 3)，この両試料の中で SB を示している蛋白が同一種の蛋白であるらしいことが推定された。

一方イカ肉水抽出液中の流動複屈折性蛋白は微量 (0.002～0.1 M) の KCl を加えると沈澱し，更に KCl 濃度を高めると塩溶 (salting-in) を示すことが認められ，またかかる性質は水抽出残渣の大部分を占める半透明かゆ状の蛋白成分 (Fig. 3 の C-層) に於ても認められた (Fig. 5)。微量の塩類の存在で沈澱する性質は Szent-Györgyi の結晶性ミオシン[10]の場合に似ているが，塩溶 (salting-in) を示すイオン強度[2][3][4] から考えてミオシンとアクトミオシンが相共にイカ肉の水抽出液に含まれていることが示唆された。前述の如くイカ肉水抽出液中の SB は1回目の抽出に認められず2回目以降に認められ，またこの抽出液中の塩類のイオン強度は1回目で高く，2回目以降から低くなるので (Table 4)，1回目の抽出では SB を示す蛋白が沈澱するような状態にあり，2回目以降ではそれが溶出するのに有利であるような条件が満されたものと考えられる。対照としたコイ肉では水抽出液のイオン強度はイカ肉の場合よりも低いにもかかわらず SB が現れないことは，ミオシン区の中に含まれる蛋白の性状そのものがイカ肉とコイ肉では著しく異ることを示唆している。

以上の研究によつてイカ肉のミオシン区蛋白の中にはその性状が特殊であるために水で抽出され，SB を示す蛋白が存在することが推定された。

イカ肉の利用・加工に関する組織学的及び組織化学的研究—I.*
イカ肉の組織学的特性

田　中　武　夫

緒　　言

イカの肉は，煮るとちぢみ易い，そしてくるくると丸くなる。又これを干したいわゆるスルメは，魚の肉に比べて強靱であり，横にはさけ易いが縦にはさけにくい。このように日常よく経験する魚肉と異つたイカ肉のちぢみ易い，強靱である，一定方向に裂け易い等の物理的性質は，その肉の組織構造が魚肉の組織構造とは余程違つたものであることを充分に予想させる。ましてイカは魚とは別方向の進化を辿り，その分類学的位置が魚類とは全く異る軟体動物の頭足類に所属することを思えば，更にこの予想は強められる。然るにこの予想を裏付けるようなイカ肉組織の特性に関しては，私達の知識は甚だ貧弱であるといわざるを得ない。ごく稀に古い動物学の書物[1]に“イカの外套は斜紋筋からなる”との僅か 1，2 行の記載を目にするのみであつて，その出典の Ballowitz の原著を尋ねれば，遠い 50～60 年以前のものらしく現在入手することは容易なことではないようである。事実筆者はいろいろ手を尽くしたが遂にその原著を読むことができなかつた。又 Ballowitz 以後はイカ肉組織について殆ど研究は行われていないらしい。

一方において，イカ肉といつても殆どスルメイカ肉であるが，その利用加工上の諸問題に数えられる加熱調理時の著しいちぢみや変形，歩留りの悪さ，また乾燥中の甚しい硬化，よくいわれる消化の悪さ，また乾燥や塩蔵或いは冷蔵等の処理中に体表面に現れてひどくその商品的価値に影響する変色（赤褐変）及びそれを防ぐための剝皮処理の難しさなど，いずれも普通の魚肉では余り問題とされないイカ肉特有の問題ばかりであり，そしてどのひとつをとつてみても多分に魚肉と異るイカ肉の組織に原因する，ないしは関係する問題のようである。このような問題は，化学的に研究するよりは組織学的に研究した方が扱い易い，或いは両者を組合せて行つた方が解明し易い，と考えられるので，筆者はこれらイカ肉の利用加工上の諸問題を組織学的並びに組織化学的観点から研究した。尚研究の対象を主としてイカ類中漁獲高においてその大部分を占め最も重要な有用種であるスルメイカにおいたことはいう迄もないと思う。

先ずその第 I 報として，イカ肉の筋線維の太さや配列の仕方，また結合織（結締組織）のあり方など主に組織構造上からみたイカ肉組織の特性を魚肉その他タコ肉の場合と比較して究明し，その結果をイカ肉利用加工の立場から若干考察したのでここに報告する。

なお本研究は，戦後急激にその漁獲高を増してきて昭和 27 年には全漁獲物中の首位を占めるに到つたイカの利用・加工に関する技術的の改善を目的として同年 3 月にイカ肉研究班（班長右田正男博士）が組織され，その後の 4 年間，東海，北海道，東北の各水研，北海道，お茶の水女子の各大学において数多くのイカの研究がなされたが，その班研究の一環として行われたものである。

材料及び方法

筆者はイカ肉を通称する胴，鰭**，脚**の 3 部に大別してその肉組織を観察したが，観察上更に各部については次のような呼称を用いた。

* 1958 年 5 月 12 日受理　東海区水産研究所業績 A 第 72 号

** 鰭は俗に耳といわれ，脚は図鑑[2]記載の術語によれば腕といわれる。

イカ胴部（外套）のうち，図鑑記載の用語に従い，骨骼（甲）のある側を背とし，その反対側漏斗のある側を腹とする，そして今後りに Plate（以後 Pl. と略す）I の模式図に示すように，胴部を腹開きした場合色素胞のある側を表側，その裏側を内臓側と呼ぶ。

鰭部も胴部に準じ図に見るような側を表側と呼ぶことにする。

脚部（腕）も図鑑により，吸盤のある側を脚の内面とし，これと反対側を外面とした。而して図示するように，10本の脚のうち胴部の背に面している左右の脚を第1脚，それから順次腹側へ向い第2脚，第3脚，第4脚（但し最も長い触腕を除く）と称した。つまり第4脚は胴部の腹に面し，漏斗の直下に存在する。

各部を通じて，鰭部から頭部へかけての体軸方向をタテ，その直角方向をヨコと呼ぶことにする。

このような呼称は，本研究で用いたイカ以外のタコにおいても，また本報文以降の報告においても引続き用いている。

観察に用いた材料及び観察の方法の大要は次の通りである。

材料は，最も利用加工の対象とされるスルメイカを中心とし，このほかに，スルメイカの補足材料として他のイカ4種を，また比較材料としてマアジとマダコの2種をそれぞれ用いた。

方法は，スルメイカの胴部，鰭部，脚部の順にそのうち胴部に最も重点をおいて観察し，各部について肉眼的観察と顕微鏡による観察の2つを行つた。すなわち，先ず主として容易に入手できる市販のスルメイカの生肉又はそれを乾燥したもの或いは煮熟したものを用いて，肉眼的に線維の配列の状態等大体の構造を探り，次に肉眼的観察に基いて組織標本を作り細部の構造を顕微鏡で観察した。

以下更に詳細に顕微鏡観察で用いた材料，並びに標本作製方法について記述する。

I. 材　　料

A, B, C 3 群の材料を用いた。

A 群

スルメイカ *Ommastrephes sloani pacificus* Steenstrup の群である。この群では3尾（A_1, A_2, A_3 材料とする）を主としこのほかに10数尾のスルメイカを補助的に随時用いた。

A_1, A_2 材料：8月上旬及び9月上旬いずれも伊豆沿岸で漁獲された死後10数時間と称するスルメイカをそれぞれ東京の築地市場から入手した。このうち前者 A_1 は，体重 316 g，胴長 23.0 cm，Beckman ガラス電極 pH メーターによる肉の pH は 6.63（背），6.60（腹）であり，後者 A_2 は，同じく 321 g, 23.0 cm, pH 6.57（背），6.53（腹）である。

A_3 材料：5月中旬千葉県勝浦沿岸で獲れ，漁獲後1夜経過したスルメイカを築地市場から購入した（体重 274 g，胴長 22.2 cm，背肉の pH 6.40）。

いずれも Pl. I の図に示す胴，鰭及び脚の各個所からそれぞれ大約 0.5×1.0×0.5 cm の顕微鏡標本用試料を数個ずつ採取した。脚は A_1～A_3 材料の付根から 2 cm 下の部分を用いたが，更に比較のため 5 cm 下の脚中部をも A_2 材料の第2脚（脚の全長 14 cm）から採取して用いた。

B 群

スルメイカ以外のモンゴイカ *Sepiella maindroni* de Rochebrune，コウイカ *Sepia esculenta* Hoyle，アオリイカ *Sepioteuthis lessoniana* Férussac 及びヤリイカ *Doryteuthis bleekeri* Keferstein の4種の群で，いずれもスルメイカ胴部についての観察結果を補足するためにたまたま5月中旬東京の中央魚市場から1尾ずつ入手したものである。

モンゴイカは静岡沿岸産のもので胴肉の pH 6.67，コウイカは木更津から入荷したもので pH 6.64，アオリイカは愛知沿岸産で pH 6.75，ヤリイカは八戸より入荷し pH 6.18，4尾とも鮮度

良好で生食に堪えうるものであつた。各イカの鰭部と脚部は除き胴部のみ用いその背から数個ずつ試料をとつた〔Pl. III, IV の各図参照〕。

C 群

マアジ *Trachurus japonicus* (Temminck et Schlegel) とマダコ *Octopus vulgaris* (Lamarck) の群で，スルメイカの肉組織と比較対照するために用いた。マアジは新鮮な状態で容易に入手できるので材料としたのであるが，マダコを用いたのは，分類学上イカと同じ頭足類に属し最もイカに近縁の種属であり，更に経験上イカの肉組織に類似しているように思われたからである。

マアジは3月中旬及び5月中旬にそれぞれ築地の魚商から手に入れた C_1（体重 125g，体長 21.5cm，背肉の pH 6.25）と C_2（同じく 108g，19.0cm，pH 6.22）の2材料を主としこれ以外にも 5，6 尾のマアジを補助的に用いた。Pl. VIII の第2図に示すように，その背部の中央と頭部側及び尾部側の3個所から試料をとつた。

マダコは千葉県小湊産の死後一昼夜経過したものを5月中旬中央魚市場から購入（体重 368g，脚を含めた体長 44cm，胴肉の pH 6.17），これを主材料とし，このほかに2尾を補助として用いた。Pl. VI の模式図に示す各個所（胴部の背と腹及び全長 33cm の第2脚の付根から 17cm 下の脚中部）から試料を採取した。

II. 顕微鏡標本の作製

(1) セロイジン法及びパラフィン法

A_1 材料から採取した顕微鏡標本用試料（組織片）においては固定後セロイジン法により永久標本を作製した。作製方法の大要は次の如くである。すなわち，Bouin の液で一夜固定した組織片を 10～24 時間流水水洗し，漸強アルコール列を通して（4～6 日間）順次脱水し整形後セロイジンに包埋，Schanze の Reichert 型ミクロトームで厚さ 10～15 μ に切断し，そのうちの選定した薄切切片を，Delafield の hämatoxylin と eosin で染色した後アルコール脱水しクレオソート・キシロール（3：7 の混液）にて透徹，バルサムで封入した。なおこの染色においては，hämatoxylin で核染色した切片を塩酸アルコールで分別せず直ちに滴下中の水道水に 1～2 時間浸漬し色出ししてから eosin で後染めしたのであるが，その結果は核と原形質及び筋線維間物質等が鮮明に染別できる良好な染色標本が得られた。

A_2 材料からの試料においては Bouin の液で固定後パラフィン法により永久標本を作つた。パラフィン法は，試料がパラフィンの融点以上約 60°C 近くまで加熱される欠点をもつが，セロイジン法の場合の遊離切片と異り連続的に切片が得られ組織内の微小な構造をも逃すことなく観察できるのでこれを採用した。A_1 の場合と同様に脱水し，パラフィンに包埋後 Minot 型ミクロトームで薄切し，得られた切片を，スライドグラスに貼付し伸展乾燥後キシロールで切片のパラフィンを除き，染色—脱水—透徹，封入した。なお包埋前の組織片のパラフィン誘導剤として，酢酸アミル・トルオールを試用してみたが，イカ肉の場合にも常法のクロロホルム又はキシロールを用いた方が組織内へのパラフィンの誘導にはよいようであつた。

B, C（C_2 を除く）両群の試料にてもパラフィン法により永久標本を作製した。

A_2, B, C（C_2 を除く）の各試料から得られた切片の多くは Delafield よりも染色の容易な P. Mayer の hämatoxylin と eosin で2重染色したが，更にその一部の切片においては結合織を観察するために Mallory 染色[3] も行つた。なお筆者は Mallory の液で染色する前の染液に，azocarmin G を用いる Heidenhain の変法ではうまく行かなかつたので，酸性 fuchsin（0.5% 水溶液）を用いる旧法を採つた。またこの染色の場合には，染色性を高めるために試料を Zenker の液で固定した，そして固定後の組織片について又更に切片としてからもいわゆるヨード化を行つて組織内に沈着した昇汞結晶を除いた。

(2) 氷結法—セロイジン法とパラフィン法の吟味

A_3 及び C_2 材料から得た試料にては氷結法により標本を作製した。その理由は，セロイジン法或いはパラフィン法で得られた標本は，標本作製までに固定，脱水，染色等の操作を行つているので，これらの操作に基く原型との違い，即ちいわゆる artefact がこれらの操作中に起つているかどうかを確める必要をその後認めたので，セロイジン，パラフィン両標本と比較するため，A_3（スルメイカ）及び C_2（マアジ）各材料を新たに購入してその試料から最も原型に近いとみなせる氷結切片を作つたのである。その方法は，各材料から採取した試料を固定—脱水の操作を経ずにそのまま直ちに SARTORIUS 型凍結ミクロトームで薄切し，得られた氷結切片を染色せずにそのまま位相差顕微鏡で観察した。

[illegible] A_1 [illegible] A_2 [illegible] A_3 [illegible] 比較検鏡した結果によれば，前2者において特別に組織構成（位置，形，構造）上の artefact は認められず，唯，或程度予期していた所ではあるが，セロイジン，パラフィン両標本では各々筋線維の太さ等が（氷結切片による）原型よりも細くなつているようであつた（この点に関しては後記の考察の項で更に検討する）。また表皮部は概して厚く胴部をタテに切り開いた時，巻き込まれやすいのであつた。そこで本研究においては，セロイジン及びパラフィン両標本を中心に観察したが，筋線維の太さ，皮の厚み等を測定する場合には氷結標本を用いることにした。

(3) ミクロトームによる切断面について

ミクロトームで薄切した面は，[illegible] 部を例にとれば Pl. II の模式図(1) に示すような試料の XY，YZ 及び XZ の3面*である。すなわち

- XY 面……胴部表側からみた面
- YZ 面……胴部をタテに切り開いた時の切断面
- XZ 面……胴部をヨコに切つた時の切断面

であつて，これらの記号は，イカ以外の C 群（アジ，タコ）の試料及びイカの鰭部と脚部でもイカ胴部に準じて適用している。

このようにして得られた 2000 個近くの各種染色標本を普通顕微鏡にて 30～2000 倍に拡大して観察し，その結果を富士写真フイルム K.K. のネオパンフイルム或いはミニコピーフイルムに顕微鏡撮影した。なお脚部などの大形の標本全部を撮影する場合には接写装置を用いた。また前記の A_3 及び C_2 材料の氷結切片につき位相差鏡検しミクロメーターを用いて筋線維の太さ，皮の厚み等を測定した。

結　　果

スルメイカの胴，鰭，脚の各部門別に A～C 群材料の観察結果をまとめて次に記載する。

【胴　部】

I. 肉眼的観察

高橋・竹井の水戻りスルメの研究[4]において得られたクエン酸ソーダ処理後の乾燥イカは，普通の干スルメよりも胴部が透明で比較的その肉組織が観察し易いので，これを用いて，その表側の皮を注意してむくと，一番上の皮とその下の皮の間に黒褐色の色素胞があるようであり，更にその下にも白い線維の交錯した丈夫な皮のあることが分つた。この一番下の皮は一定方向に並んだ強靱な線維から成る網目状組織らしいが，その上の皮は，その破れ方からみてそれ程方向性のない網

* 通常の筋組織の標本では縦断面及び横断面と称する2面を用いている。イカ胴部の筋線維配列を鏡検した結果では，3面のうち XY 面が縦断面に，YZ 面が横断面にそれぞれ相当していることが分つた。この2面のほかに更に XZ 面を加えて観察の万全を期したのである。

状の組織らしい。なお反対の内臓側にもごく薄い皮膜が認められた。以上の表裏の皮をことごとく除いた肉では，Pl. II の図 (1) にみる如くヨコに走る数多くの筋肉が観察された——このヨコの筋肉の走りは，普通の干スルメをさくとヨコにさけるがそのさけ目からも，又市販のノシイカからも或程度うかがうことができる。

これに対して比較のために用いたアジの生肉では，皮をはいだ下の肉に，Pl. VII の模式図 (1) に示すような Z 型の線維性結合織の筋隔 (myocommata) が整然と並んでおり，その白い薄膜の結合織に連結している体側筋は，特に肉を煮熟してみると分るように大約体軸方向に配列している。なお，一般硬骨魚類の筋隔及び体側筋構造については，加福[5]が比較解剖学的立場から詳しく観察されている。

II. 顕微鏡観察〔Pl. I～VIII〕

観察結果をイカの肉組織と皮組織及びイカ肉とアジ肉との組織の比較の2項目に大別して次に記してみよう。

(1) イカの肉組織と皮組織〔Pl. I～VI〕

i) 肉組織〔Pl. I, II, III, IV, V, VI (1) (2)〕

スルメイカの胴肉を表側から内臓側へ連続的に薄切して行つた XY 面の連続切片標本と，その側面の YZ 面の連続切片標本とを鏡検して行くと，XY 面の標本には常に Pl. I (1)にみるような組織構造が観察され，YZ 面の標本には常に Pl. I (2) にみるような組織構造が観察される，そして XY, YZ 両面の標本にいずれも見られる細い紐のような層の巾とその層と層との間隔は両面でほぼ等しい。以上のことから，XY (又は YZ) 面に走つて見える線維の層と YZ (又は XY)面に断面が見える線維の層とは同じものであること，即ちスルメイカ胴肉の組織は，XY 面に走つて見える線維と YZ 面に走つて見える線維との2つの線維の層から主として構成される甚だ単純なものであることが分つた。而してこの2つの線維層の配列方向を鏡検してみると，前者の XY 面を走る線維層は，XY 面及び XZ 面〔Pl. II (1) A〕の写真から分るようにヨコに配列しており（肉眼的に観察されたヨコに走る筋肉はこれであつたらしい），後者の YZ 面を走る線維層は，表側及び内臓側にある皮に対してほぼ直角に交わつている〔Pl. II (2) (3) 参照〕から，表側から内臓側へ真直ぐに配列していることが分つた。以上の鏡検結果に基き作製した胴肉組織構造の模式図が Pl. II の図 (2) である。

同図では2つの線維のうち XY 面に走る線維を A，YZ 面に走る線維を B とそれぞれ仮称したが，この図にみるような組織構造が胴肉のいろいろの部分〔Pl. I の図に示す試料採取個所〕において常に認められることから，線維 A の層は，筋肉の主要部分を占め，約 80～400μ（概して 230～250 μ が多い）の巾をもつて胴部外套をぐるりと環走しているようである。そしてそれは Pl. I (2)，II (1) B，(1) C に見る通り直径 3～7μ の比較的長い線維 A が密に並んで構成している層である。一方線維 B も A と同様直径 3～7 μ の割には長く，その層は，15～30μ の巾をもち，YZ 面では殆ど認められないが XY 面から見ると途中で切れたりふたまたに分れたりしているものも多く認められる。而して A，B 両線維とも核を有する。A はもちろん筋線維であるが，B もまた Mallory 染色試験のほか Masson 染色やトリプシン消化等の試験[6]によれば結合織線維ではなくて筋線維らしい。しかし Pl. II の図 (2) にみるように，イカ胴部の筋肉を A の層として仕切り，更に表側と内臓側の各皮と共に筋肉 A 層を包む鞘を作つている状態からみて，この B の層は，形態的に魚肉の結合織から成る筋隔に似ており，機能的にも筋隔と同様に筋肉——この場合は A の層を補強する役目をもつているのではないかと思われる。

イカ胴肉中には，かかる2つの線維を囲んで束ねている強固な線維性結合織はどの部分にも認

められず，唯血管，神経などの存在が観察されたに過ぎなかつた。線維性結合織は筋線維 A と A との間隙に糸状をなして入りこんでいることが鏡検された〔Pl. I (2) 参照〕。

以上のスルメイカについての組織構造は，補足材料 B 群のイカ4種モンゴイカ，コウイカ，アオリイカ及びヤリイカの胴部においても同様に確認された〔Pl. III, IV 参照〕。また MALLORY 染色したこれら 4 種のイカ標本においては，筋線維間を走る糸状の線維性結合織の状態がスルメイカの場合より更に一層明瞭に観察された。その観察結果によれば，同組織は，直径 0.2 μ 程度の結合組織線維の集つたもの（太さ 2～10 μ）を骨幹とし，これから個々の筋線維間に極めて細い網目状の枝を伸ばしている。根幹の結合織は，途中で分岐しているものもあり，また筋線維 A の間のみならずBの間にも散在しているが，筋線維を取り巻いてはいないようである。そして XY 面からみると概して，ある種のものは極めて長く走つたり（モンゴイカ，ヤリイカ），ごく短かく走つたり（コウイカ，アオリイカ）している。

次に比較材料 C 群の1つマダコの胴肉組織は，Pl. V, VI 及びその模式図 (2) に示すように，普通イカ肉組織と類似しているが，筆者は，薄い結合織の層によつて表側と内臓側にほぼ対称に分画されている点，及び皮組織との境界に太い筋肉層の束が並んでタテに走つている点の2点でイカの胴肉組織とは異つている。なおタコの筋線維間には結合織が豊富に分布している。

ii) 皮組織〔Pl. II (2) (3), III (4), IV (2), VI (3) (4)〕

YZ 及び XZ 両面の標本からスルメイカの表側の皮組織は，Pl. II (2) 並びに同 Pl. の図 (2) に見るように，4 つの異る層から成つていることが観察された。この 4 層のほかに，対照標本の氷結切片によれば，最上層の皮の上に更に粘液層らしい不安定な1層がちぎれて認められた。黒褐色の色素胞は比較的表面に近く，表面から数えて第1層と第2層の間或いは第2層の内部に分布するから，この第 2 層の皮が色素胞層と推定される。

肉眼的にも観察したように第1層及び第2層の皮は，全り方向性のない網状組織で核を有し，それぞれ厚みが 60～100 μ*，150～270 μ* である。第3層の皮は，肉眼的にはその存在が不明であつたが，特に核に富む筋肉類似の網状組織で 50～60 μ* の厚みをもつ。第4層の皮は，MALLORY の液で鮮かに青染する典型的な線維性結合織で 30～40 μ* の厚みを有する。肉眼的観察の項で認めた白い丈夫な網目状組織はこの第4層の皮であつたらしい。

なお胴部内臓側にも厚み 20 μ* 程度の MALLORY 液に青染する線維性の結合織が認められた〔Pl. II (3) 参照〕。

而して表側と内臓側にあるこの2つの線維性結合織の線維配列は，ほぼタテ方向，つまり筋線維 A の走向の直角方向であることが確認されている[6]。

皮組織と肉組織との接続は，特にコウイカ，〔Pl. III (4)〕，アオリイカ〔Pl. IV (2)〕の例に明らかの如く最下層の皮と線維 B の層との強固な連結によつて保たれているようである。

マダコの皮組織のうち，胴部表側のものは，Pl. VI (3) にみるように3層から成り，色素胞はその第1層（背で厚み 100～200 μ）の内に分布し，イカの場合に比べて遙かに厚い第2層（1,500～1,700 μ）は線維性結合織でその層内に更に筋肉類似の層をもつており，前記した肉組織と皮組織の境界に見られる太い筋肉層（約 150 μ）を筆者は皮組織に含めその第3層とみなした。浅野・伊藤の観察[7]では，第1層の色素胞層の上に更に1層の表皮組織の存在を認めている。

内臓側は，Pl. VI (4) にみる如く 30～100 μ の厚みの結合織層とその下の 50～100 μ の厚みをもつ筋肉層との2層で覆われている。

iii) 背と腹との違い

次にスルメイカの背と腹とで組織がどう違うか確めるために，A_1～A_3 の3材料の背と腹〔Pl.

* これら各皮の厚みは，A_3 材料の背の皮の厚みである。腹の皮はこれより若干厚くなる（次頁第1表参照）。

第 1 表　スルメイカ胴部の背と腹との比較（顕微鏡標本による）

材料イカの大きさ		A_1 {体重 316 g 胴長 23.0 cm}		A_2 {体重 321 g 胴長 23.0 cm}		A_3 {体重 274 g 胴長 22.2 cm}	
部位		背	腹	背	腹	背	腹
肉組織	筋線維 A, B の直径	3～4 μ	3～5 μ	3～5 μ	3～4 μ	3～7 μ	5～7 μ
	A 層の巾	70～240 μ (150～200 μ が多い)	80～380 (170～200 が多い)	130～250 (180～200 が多い)	(150～200 が多い)	130～400 (200～270 が多い)	200～300 (220～280 が多い)
	B 層の巾	10～15 μ	10～20	10～15	10～15	15～20	20～30
皮組織	第 1 層の厚み	100～150 μ	150～200	60	40～50	60～100	40～280
	第 2 層 〃	50～150 μ	170～220	50～100	100～200	150～270	500～600
	第 3 層 〃	40～60 μ	50～70	50～70	40～80	50～60	100～230
	第 4 層 〃	20～50 μ	20～50	20～30	40	30～40	40～60
標本作製方法		セロイジン法		パラフィン法		氷結法	

I の模式図に示す個所〕から得た各標本約 500 個を鏡検した。その結果では，既述した通り，組織構成（位置，形，構造）上何ら両者の間に差異は認められなかつたが，組織を構成している筋肉層の巾や皮組織の厚み等に第 1 表に示すような若干の相違が認められた。すなわち，A_1～A_3 を通じ概して腹は背に比べ線維 B の層が巾広く第 1～4 層の各皮が厚いようである。この傾向は標本作製中の artefact の最も少ないつまり原型に最も近いと考えられる氷結法による標本で特に明らかに認められた。腹は背よりも肉厚であることは肉眼的にも容易に観察されるが，そのために A 層の補強的役割をもつらしい B 層の巾が広くなり，皮組織も厚くなつたのであろうか。

iv)　夏イカと秋イカとの違い

次に漁獲時期の異るいわゆる夏イカと秋イカの組織上の差異を若干みてみた。今迄観察したスルメイカは，すべて春から夏にかけて漁獲される夏イカで体の比較的小さいものであつたが，秋から冬にかけて獲れる体の大きい秋イカでは，その筋肉を構成している A, B 各筋線維層も大きくなるのではないかと考え，この点を確めるために，1 月中旬築地市場から入手した秋イカ（体重 394 g, 胴長 25.0 cm，石川県沿岸産で死後一昼夜経過したもの，肉の pH 6.34～6.44）の背から試料を採取し，氷結切片を作り鏡検した。その結果によれば，筋線維 A 層は 200～530 μ（多くは 270～330 μ），B 層は 25～35 μ の巾をもち，第 1 表氷結法に示した夏イカの背の値より明らかに大きいことが確認された。

(2)　イカ肉とアジ肉との組織の比較〔Pl. VII, VIII〕

魚の筋線維組織の縦断面及び横断面の顕微鏡写真はよく見るが，そのような筋線維がどのように配列して魚肉組織全体を組立てているのかを明確に図示したものは少ないようである。そこでイカ及びタコの肉組織の場合と同様に，マアジ肉組織の鏡検結果〔Pl. VII, VIII〕に従い肉眼的観察結果〔Pl. VII の図 (1)〕と関連づけて模式的に作図したものが Pl. VII の図 (2) である。

同図とスルメイカ肉の模式図〔Pl. II の図 (2)〕とを比較するならば，両者の組織形態には明瞭なる相違がみられる。即ち i) イカ肉にはアジ肉に見られるような筋線維を仕切りかつ束ねて骨に接続している太い線維性結合織がなく，その代りに線維 B の層によつて仕切られ補強されていること，そして線維性結合織は筋線維間に糸状をなして散在していること　ii) イカの皮組織は，魚のそれが 2 層（表皮 20～30 μ，真皮 280～320 μ，色素胞は真皮下方の肉組織に近い部分に 1 列に並ぶ)* であるのに対し，4 層（色素胞は第 1 層と第 2 層の間或いは第 2 層の内に分布する）からなること，更に Pl. VIII の第 1 図に示すように，筋細胞（筋線維 muscle fiber）形態から　iii) ア

ジ肉が直径 50～150 μ*, 長さ 5～6 mm* の筋線維をもつのに対し，イカ肉は直径 3～7 μ の割には長い筋線維をもつていること等が大きな相違点である。

またイカの外套筋は緒言に記述した如く斜紋筋といわれているが，筆者の観察では外套筋線維に斜紋が鏡検されず，後の考察の項で述べるように，筆者はイカの筋線維を平滑筋線維に類似しているように観察した。そしてその筋線維を構成している筋原線維 (myofibril) は，遂に確認できなかつたが極めて細いものと推定された。一般に平滑筋の筋原線維は直径 0.1～1.0 μ で普通の方法では認め難いといわれている。これに対してアジ肉の筋線維には Pl. VII (1) に示すように数多くの横紋（巾 0.4～0.8 μ, 横紋間の間隔 0.6～0.8 μ）が鏡検され，更にこのような横紋はアジ肉の（表面）直角割標本においても認められた Pl. VIII (2) 参照，そしてこの横紋筋線維を構成している直径 0.2～0.5 μ の多数の筋原線維も Pl. VII (2), VIII (1) に見る如く認められたのである。

【鰭　部】

I. 肉眼的観察

胴部に比べて鰭部は薄くて透明感があるので，生肉の鰭特に通常の生スルメの鰭において，Pl. IX の模式図 (1) に示すような中央部から周辺部へヨコに走る筋肉の配列は充分に観察できる。而してこの配列は鰭の中心部では粗であり，鰭の上部と下部では密である。生肉の鰭をタテ及びヨコに切断すると，いずれの切断面にもその中央を走る薄い層（図で隔壁 C 層と仮称）が認められ，更にタテ切断面では鰭の表側から裏側方向へ直走する筋肉が見える。

骨骼（甲）の先端が接続している鰭部はゼラチン様組織と白色不透明の軟骨様組織とで占められ，軟骨様組織の一部は C 層中にのびている。なお乾燥した鰭を用いて表側の皮を第3層まで数えることができた。又肉内部を走る比較的太くて青い血管をも認め得た。

II. 顕微鏡観察 [Pl. IX, X]

写真及び Pl. IX の模式図（2）にみる如く，鰭部は大約胴部と同じ様な筋線維の配列を示すが，両者の大きな違いは，胴部の線維 B 層に相当する線維 B′ 層の巾が広く（図の X′Y′ 面で 100～150 μ）筋線維 A′ 層の巾（同じく 130～200 μ）と大差ないこと，肉内部の隔壁 C 層によつてタコの胴肉の構造と同様に鰭がほぼ表裏対称に分けられていること及び C 層の表側にタテに走る第3の線維 C′ の小さな層がみられることの3つであろう。C 層は 70～200 μ の厚みをもつた余り方向性のない軟骨様組織の壁であり，その両側には多くの空洞が存在する。

表側の皮組織は，胴部の同組織より薄く厚みがそれぞれ 20～150 μ（第1層），20～80 μ（第2層），10～50 μ（第3層）の3層もしくは4層から成り，第1層と第2層の間又は第2層の内部に色素胞が散在する。裏側は薄い3層の皮（厚みは第1層から約 20 μ, 30 μ 及び 30 μ）で覆われ第 1～2 層の間に色素胞が疎在する。

【脚　部】

I. 肉眼的観察

左右の第 1, 第2, 第4脚の6本はそれぞれ長さは異るが外観的に相似ている。最も長い触脚はこれらの脚とは大分構造が違つているようであり，また第3脚には皮厚した皮組織が魚の鰭のようにその外面に連つている。

試みに生鮮イカの第2脚を輪切りにすると，Pl. XI の模式図 (1) に示すような髄を中心としたやや複雑な構造が観察され，次にそれを煮熟してタテにさくと脚先端まで走る白い髄を取出すことができるが，筋肉層の配列方向は不明である。イカの脚部は肉眼的には容易にうかがい得ない複雑な組織構造をもつらしい。胴部の場合と同様に，乾燥した脚部の皮をむき色素を除くとその下に

* この観察結果はマアジ C_2 材料から得た氷結切片による。

白い丈夫な皮膜が見られる。

II. 顕微鏡観察〔Pl. XI～XV〕

Pl. XI, XII と模式図（2）から分る通り，イカの第2脚には，ヨコに走る筋線維 a の層とその a 層をサンドイッチ型にはさんで a 層の直角方向に走る筋線維 b の層との2層が髄の周囲を走つており，a 及び b の層は脚周辺部において，更にタテに走る筋線維 c の層によりそれぞれサンドイッチ型にはさまれている。a. b. c 3つの筋線維の層が互いに織りあつて強化し合い形成するその組織構造は，複雑ではあるが秩序立つており，まさに一驚に値するものがある。

皮組織は胴のそれと同じく4層から成り，第1層は 50～150 μ，第2層は 50～200 μ の厚みをそれぞれ有し，色素胞は 1～2 層の間或いは2層の内に分布する。第3層は 100μ，第4層は 30～50 μ 程度のものである。

以上の観察結果はイカの第2脚の上部（付根から 2cm 下）において認められたものであるが，第2脚の中部（同じく 5cm 下）においても，また写真は省略したが第1脚の上部においても，ほぼ同様の組織構造が観察された。然し Pl. XIII に示す如く，触脚の上部ではやや異る肉組織が鏡検され，第3脚の上部でも肉組織は第2脚と同様であるが皮組織は著しくそれと違つていることが観察された。更に比較のために観察したタコ第2脚も多少イカとは異る構造をもつていることが分つた〔Pl. XIV, XV 参照〕。

考　　察

I. 標本作製方法に関する考察（artefact について）

(1) 再びセロイジン法及びパラフィン法について

スルメイカの背と腹とを比較した第1表では，標本作製に用いたセロイジン，パラフィン及び氷結の3法の比較もまた行える。この表によれば，原型に最も近いとみなされる氷結標本に比べ他の2標本では，既述したように，組織構成上の artefact は認められなくとも，筋線維の太さや筋肉層の巾等が明らかに小さく出ている。これは，材料イカの大きさがいずれも大差ないのであるから，パラフィン或いはセロイジンの標本作製中の縮小に原因するとみて間違いはない。この縮小は，使用した Bouin 或いは Zenker 各固定液の中のピクリン酸或いは昇汞が細胞質を著しく収縮させた[8] ためと考えたが，細胞質を逆に膨潤させるホルマリンで固定した標本でも腹側で A層 85～200 μ，B層 10～20 μ と測定され同じく縮小が認められたので，固定以外の操作，たとえばアルコール脱水等によつて生じたものかも知れない。この点を確めるために，アルコール脱水を必要としないカーボワックス包埋—切断の方法を試みてみたが切片が丸まつてよい標本が得られず失敗した。やはり脱水せずにゼラチンに包埋する方法を今後は採つてみたいと考えている。

第1表の値でセロイジン標本とパラフィン標本との間には余り相違が見られないから，パラフィンによる試料の加熱操作は筋の縮小に大して影響しないようである。但し多少パラフィンにより熱収縮したものもあり，そのためかカールした筋線維が部分的に認められた。このような artefact をさけるためには，常温で包埋するセロイジン法の方がよいように思う。

今後，イカ肉の煮熟や乾燥等の研究では，当然煮熟や乾燥による筋線維の太さや筋肉層の巾等の変化を観察しなければならないから，標本作製中に生じる上記の縮小は充分考慮しなければならないであろう。

(2) ミクロトームによる切断方向について

次に，やはり筋線維の太さや筋肉層の巾に影響を与えるものに切片作製時の試料の切断方向がある。今迄採用してきた切断方向は試料の XY 面ではヨコに，YZ 面ではタテであつた。YZ 面

における線維 B の配列方向がヨコであることが分つた現在では，YZ 面はヨコに切断した方がよいとのではないかと考えこの点を確めてみた

氷結法により凍片の YZ 面をタテとヨコの 2 方向から切断して得られた 2 切片を比較した結果では，両者間に大差はなかつたが，ヨコ切断の方が原型に近いように鏡検された。又試みに，XY 面をヨコ（筋線維 A の配列方向）でなくタテに切断した時には，その切片のタテの長さは原型の約 70% を有するにすぎなかつた。タテ，ヨコの意味は異るが，牛肉筋線維の縦断切片では，その横断切片より著に太径の線維の多数が小さく，Hoagland 氏によるとその縮小率は 79% であるといわれている[9]。よつて今後イカ肉筋線維を観察するための切片作製においては，XY 面及び YZ 面の切断による A 及び B 線維の方向都合に応じ選択したいと考える。

II. 標本観察結果に関する考察

(1) 斜紋筋説について

イカの筋組織に関しては，緒言にも記したように，（コウ）イカの外套筋肉が有紋筋の一種の斜紋筋であると云われているのみで他は何も分つていないようである。然し本研究で観察したコウイカ始めスルメイカ，モンゴイカ，アオリイカ及びヤリイカの 5 種類のイカ筋肉に関しては，斜紋その他の紋を遂に鏡検することができなかつた。

筆者の観察によれば，胴部の A，B 両線維は細長の形状，3~7 μ の直径，そして長円形の核をもち，更に細い筋原線維の束状集合体が線維内に存在すること，筋線維表面にその長軸とほぼ平行に走る結合織性線維が付着すること（コウイカ，アオリイカ）等，すべて斜紋筋と異りむしろ平滑筋の（形態学的）性質に類似している事実，軟体動物の筋肉は平滑筋が多いとも云われている。このほかにイカ肉の蛋白の特異性[10]からみて，その蛋白はアジ肉蛋白よりは低次の段階にあるように考えられるが，このようなことも横紋筋に比べて未発達の筋肉であり充分に分化していない筋漿を多くもつという平滑筋からイカ肉が構成されていることを示唆しているように思う。今後筆者はイカ外套筋を平滑筋ないし平滑筋質化の筋肉という観点に立つて研究を進めて行きたいと思つている。

(2) イカ肉組織の特性がイカ肉の利用加工上の諸問題に及ぼす影響について

本研究の観察結果から得られたスルメイカの肉組織は，アジのそれとはもちろん異るが，分類学上イカに最も近く又経験上イカ肉の組織に似ていると思われるタコの肉組織とも異つており，同類のイカ 4 種において始めて同じであることが確認された，よつて，その組織構造はイカ肉の組織学的特性と云つても差支えないであろう。

かかるイカ肉の組織学的特性をイカ肉利用加工上の諸問題と結びつけて次に考察してみたい。

既に観察したように，イカ肉の特に胴部における筋線維の方向性並びに魚肉に認められるような太くて明瞭な線維性結合織がないということは，イカ肉の強靱，脆弱等の物理的性質にも当然方向性を与えているものと考えられ，またイカ肉にみられる煮熟時の著しい収縮にも方向性のあることを暗示している。更に，イカ肉の物理的性質である硬さ，ちぢみ易さ等を測定する場合には，予めこのような方向性を充分考えておかねばならないことを示唆している。

胴，鰭，脚各部の組織構造がいずれも異ることは，これらを食べた場合の歯答えに相違を与え，これが人々の好みに適否を生じさせる原因のひとつになつているように思う。特に脚部の複雑で強靱そうな筋線維構造については，脚部を利用加工して食品化する際に或程度留意しておく必要があろう。

皮に分布する色素胞が原因してしばしばイカ肉の加工中にひどい褐変現象が現れるが，この対策として予め皮をはぐという方法が考えられている。イカのこの色素胞は第 2 層までに分布してい

ることが分つたから，この変色防止のためには第2層まで剝皮すればよい訳である。このような方法を容易にそして適確に行うためには，更に一層詳細な皮組織の観察，特に各層の皮の組織学的及び物理的化学的性状等を調べることが望ましい。

イカ胴部の組織は単純な一面細い線維が狭い筋肉系内に数多くつまつて構成する甚だ緻密なものであり，このような密な組織構造が一因となつて，乾燥中の著しい硬化がもたらされるようである。またかような密なイカ肉組織は，凍結冷蔵によつてどのような構造上の崩壊を招くであろうか，一般の冷凍魚肉にみられるような組織の損傷を蒙らないかも知れない，或いはまた蒙るとしても全く別の形のをとつて示されるかも分らない。通常，冷凍魚肉は刺身にならないが，冷凍イカは刺身になると云われるのも，多分にイカ肉のこの組織の緻密さに原因があるように思われる。

このように考察してくると，緒言で推察したイカ肉の利用加工上の数多くの問題にイカ肉の組織が甚だ関係しているということは明らかのようである。従つて，今後筆者はこれらの諸問題を組織学的並びに組織化学的観点から更に究明しその結果を引続き報告して行きたいと思う。

要　　約

煮熟時の著しいちぢみ，乾燥による硬化，消化の悪さ，変色及びそれを防止するための皮はぎの煩しさなどのイカ肉利用・加工上の諸問題を組織学的及び組織化学的に研究するため，先ず主としてスルメイカ *Ommastrephes sloani pacificus* Steenstrup の胴（外套），鰭及び脚（腕）の各部の組織学的特性をマアジ及びマダコの組織と比較しつつ肉眼的並びに顕微鏡により観察した。

1. 〔胴部〕肉組織は，Pl. I, II にみるように，外套を環走しているらしい 230～250 μ の巾の筋線維層と，その層間を 15～30 μ の巾をもつて表側から内臓側へ直走する筋線維層との2層から成る。イカの外套筋肉は古く斜紋筋と云われているが，この 2 層の筋線維は，斜紋筋線維というより，その形態上平滑筋ないし平滑筋類似の筋線維のように観察された。なお線維性結合織は，この筋線維間に糸状をなして入りこんでいる。

以上の観察結果はモンゴイカ *Sepiella maindroni* de Rochebrune，コウイカ *Sepia esculenta* Hoyle，アオリイカ *Sepioteuthis lessoniana* Férussac 及びヤリイカ *Doryteuthis bleekeri* Keferstein の胴部においても確認された〔Pl. III, IV〕が，同じ頭足類のマダコ *Octopus vulgaris* (Lamarck) の胴部においては若干異る結果が得られた〔Pl. V, VI〕。更にマアジ *Trachurus japonicus* (Temminck et Schlegel) の体側筋組織〔Pl. VII, VIII〕と比較してイカ肉の組織学的特性を究明した。

イカ胴部の皮組織は 4 層から成り，その第1層と第2層の間或いは第 2 層の内に色素胞が分布している〔Pl. II (2)〕。

2. 〔鰭部〕は，Pl. IX, X に示すように，軟骨様の隔壁でほぼ表裏対称に区切られ，各区における筋線維の配列方向は胴部の場合と同様であるが，主体をなす筋線維層の間を表側より裏側方向へ走る筋肉層が著しく厚くなつている。又隔壁の片側には更に別の線維層が見られ，隔壁の周囲には多くの空洞が存在する。

3. 〔脚部〕は，第2脚において Pl. XI, XII にみる如く，中心の髄の周りを互いに直交する2つの線維層とこれら両層を脚周辺部においてサンドイッチ型にはさんでタテに走る第3の線維層とから形成され，胴部及び鰭部に比べやや複雑な構造を呈する。触脚，第3脚及びマダコ第2脚においては，上の第2脚とは多少異る構造が観察された〔Pl. XIII～XV〕。

4. イカ胴部の筋線維の太さ，筋線維層の巾等が，背と腹及び夏イカと秋イカでどのように違うか，更に顕微鏡標本作製法（セロイジン法，パラフィン法及び氷結法，切断方向）の違いによつ

てどのように変つてくるかをしらべた（第1表参照）。またイカ肉利用加工上の諸問題をその組織構造の面から若干考察した。

終りに臨み，御校閲を賜いた東海区水産研究所 高橋博士，標本作製の御指導を仰いだ日本女子大学 妹尾教授並びに東海区水産研究所 吉田技官，顕微鏡写真撮影に御指示を得た同所 竹村技官に厚く御礼申上げる。

文　　献

1) 例えば福井玉夫：“新撰動物学汎論”，訂正5版，養賢堂，東京，pp. 161 (1932).
2) 内田清之助他54氏：“改訂増補日本動物図鑑”，2版，北隆館，東京，pp. 1012 (1949).
3) 緒方知三郎：“病理組織顕微鏡標本の作り方手ほどき”，改訂8版，南山堂，東京，pp. 157～161 (1954).
4) 高橋豊雄，竹井誠：東海水研報，No. 14, 31～90 (1956).
5) 加福竹一郎：魚類学雑誌，1(2)，89～100 (1950).
6) 田中武夫：イカ肉の利用・加工に関する組織学的及び組織化学的研究 II. 加熱による変形，(未発表).
7) Asano, M. and Ito, M.: *Tohoku J. Agr. Res.*, **6** (2), 147～158 (1955).
8) 蓑内収：“ミクロテクニック”，1版，岩波書店，東京，pp. 5～13 (1930).
9) Wang, H., Andrews, F., Rasch, E., Doty, D.M. and Kraybill, H.R.: *Food Res.*, **18** (4), 351～359 (1953).
10) 右田正男：日水会誌，**18** (10)，558～568 (1953).

Histological and Histochemical Study on Processing the Squid Meat I. Histological Properties of the Squid Meat

Takeo Tanaka

Synopsis

In Japan a greater part of annual landings of squid comprises *Ommastrephes sloani pacificus* Steenstrup. Despite an important position that this species takes in Japanese fisheries and allied industries, processing its meat into more acceptable food has been presenting considerable difficulties yet to be solved, not only because the meat, when dehydrated, is liable to contract and harden extremely but because the pigment cells are apt to be destroyed to cause discolouration. As these problems seem to be largely related with histological properties of the meat, the author has conducted microscopic observation to compare histological features between the squid meat and those of other marine animals.

1. Histological structure of the mantle has been observed by the use of sample pieces taken from various positions of the mantle of *Omm. sloani pacificus* caught in different seasons. All the sample pieces have indicated almost the same morphological patterns as described below:

The mantle is rather simple in structure, consisting of two groups of muscle fiber layers. They are arranged one in succession to another and run in a different direction from one another. The main layers, each 230～250 μ thick, encircle the mantle and are apparently reinforced by another layer, each 15～30 μ thick, running across the former at nearly right angles to the side of the mantle (Plates I, II).

As seen in the Plates, the muscle fiber is slender for its diameter measuring 3～7 μ. Although it was described as obliquely striated, the microscopic appearance of muscle fibers is smooth rather than striated. The fibrous connective tissues are not so thick or

distinct as those in the meat of jack mackerel, *Trachurus japonicus* (TEMMINCK ET SCHLEGEL) [Plates VII, VIII]. Instead, they consist of fine threads scattering among the muscle fibers.

The observation of mantle has also been made for other species of squid including *Sepiella maindroni* DE ROCHEBRUNE, *Sepia esculenta* HOYLE, *Sepioteuthis lessoniana* FÉRUSSAC and *Doryteuthis bleekeri* KEFERSTEIN [Plates III, IV]. Structural characteristics of their mantles are similar to that of *Omm. sloani*. However, they all are a little different from the mantle of an octopus, *Octopus vulgaris* (LAMARCK) [Plates V, VI].

In *Omm. sloani* the epithelial tissue of mantle consists of four layers with the pigment cells distributed on or inside the second upper layer [Plate II (2)].

2. Like the mantle, the fin has two different arrangements of muscle fiber layers as well, a widthwise one and a crosswise one, although they differ in thickness from those in the mantle. There is another layer which symmetrically separates the dorsal side of the fin from the ventral side. Along this layer there are a fiber layer and numbers of cavity [Plates IX, X].

3. Compared with those of the mantle and fin, muscle tissues of the arms present more complicated and tougher appearance. Photomicrographs of representative arm, the second, of *Omm. sloani* reveal three groups of fiber layers, whose arrangements may be roughly described like this. In the central area, two groups of the layers form a lattice-work encircling the marrow with ends of the both groups separating into radii. The third group, enclosing the central area, longitudinally extends between the radii and toward the tip of the arm [Plates XI, XII]. The second arm of *Omm. sloani* look a little different in detail from the structure of its tentacle and the third arm [Plate XIII] or the second arm of *Oct. vulgaris* [Plates XIV, XV].

4. On the basis of the histological observation, suggestions have been made for solving difficulties involved in processing the squid meat.

図　　版

PLATES

Plate I～VIII 【胴部】

Plate I, II　スルメイカの胴部（肉組織と皮組織）

〃 III, IV　スルメイカの補足材料モンゴイカ，コウイカ，アオリイカ及びヤリイカの胴部（肉組織）

〃 V, VI　スルメイカの比較材料マダコの胴部（肉組織と皮組織）

〃 VII, VIII　同じく比較材料マアジの胴部（肉組織）

Plate IX, X 【鰭部】

Plate IX, X　スルメイカの鰭部（肉組織と皮組織）

Plate XI～XV 【脚部】

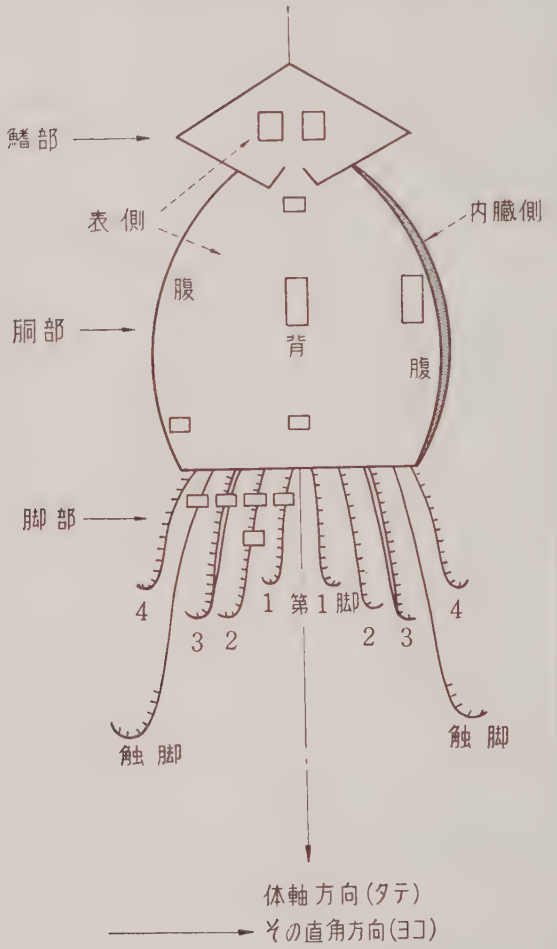
Plate XI,XII　スルメイカの第2脚（肉組織と皮組織及び吸盤，髄）

〃 XIII　スルメイカの触脚及び第3脚

〃 XIV, XV　比較材料マダコの第2脚（肉組織と皮組織及び吸盤，髄）

Plate I 〔胴部〕

材　　料：　スルメイカ *Ommastrephes sloani pacificus* Steenstrup
標本作製方法：　Bouin の液固定，セロイジン包埋，Delafield の hämatoxylin•eosin 染色



報文中に用いたイカ各部の呼称及び顕微鏡標本用試料の採取個所（□印）を示す，図はスルメイカ胴部を腹開きしたもの

(1), (2) の写真共，各右下の写真(倍率120)* 中の白枠部分を拡大（倍率1200)* して示したものである。以下の写真においてもこのような表示方法を用いているが，低倍率と高倍率の写真の標本は必ずしも同一でなく別の標本のそれに相当する部分を示したものが多い。

スルメイカの胴部は筋線維 A と B（いずれも仮称）の 2 つの層から構成される。

(1)…ヨコ（体軸の直角方向）に走る筋線維 A の層とその間にはさまれた 1 本の筋線維 B の層の断面，右下の低倍率の写真では細い B の層が 2 本見える。

(2)…上の(1)を側面からみたところ。数多くの筋線維 A の断面の間を筋線維 B の層が走っている。個々の筋線維（筋細胞）A の間には細胞間隙がみられ，そこに線維性結合織が入りこんでいる（特に↘印個所では明瞭）。右下の写真では B の層が 3 本見える。

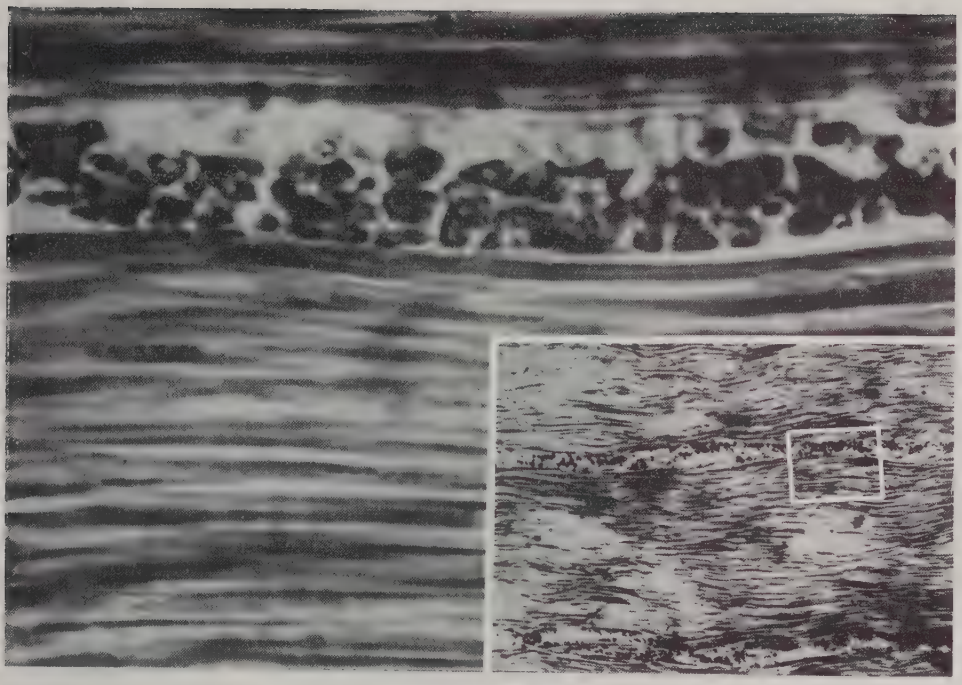
〔(1), (2) いずれも Pl. II の模式図を参照されたい〕。

* これらの倍率の中には解像力に無関係の写真の引伸し倍率も加わっているので，この引伸し倍率を除いた直接倍率を次に示す。

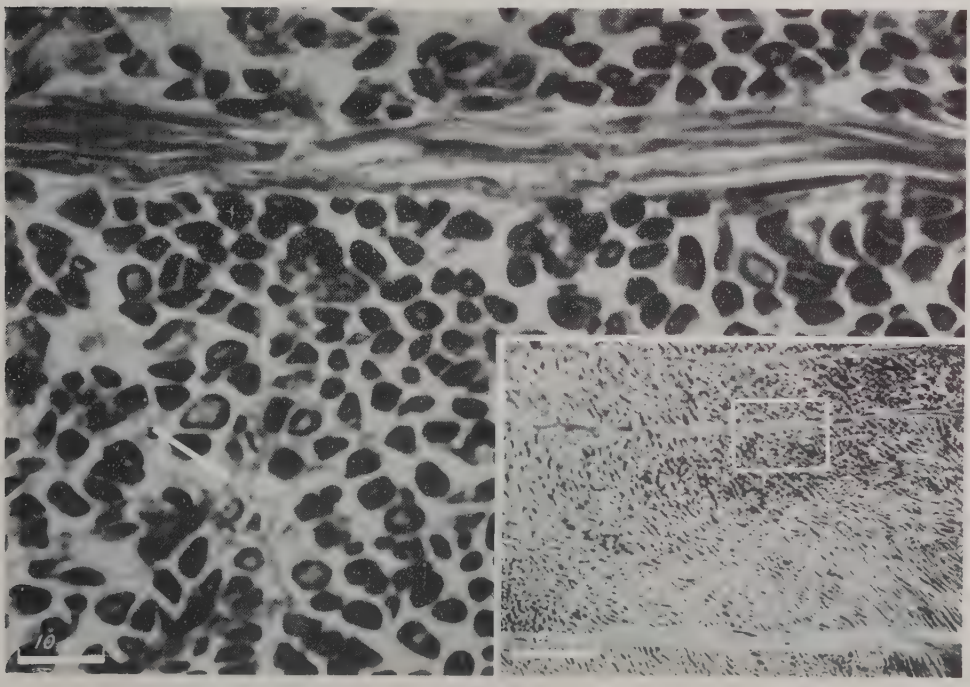
		対物レンズ		接眼レンズ
全写真を通じ	×120 とあるのは	8	×	10 又は 20
	×300 〃	40	×	10
	×600 〃	40	×	20
	×1200 〃	40	×	20

このようなレンズを用いて撮影し（実際には接眼レンズとフイルム面との距離が短いのでこの倍率の ½～⅓ に写る），これを所要の各倍率にまで引伸したものである。

Plate I



(1) X Y面 ×1200 ×120



(2) Y Z面 ×1200 ×120

Plate II 〔胴部〕

材　　料：　スルメイカ *Omm. sloani pacificus*
標本作製方法：　Plate I に同じ

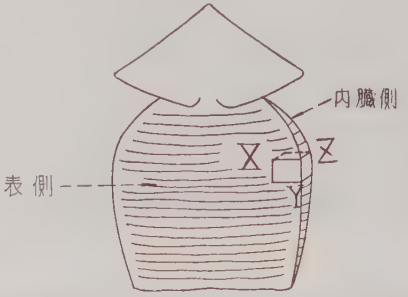
(1)A…筋線維 A の走り，このようにして A の層は胴部をぐるりと環走している。この XZ 面を多少傾斜させて切断すると，Aに直交する筋線維 B が標本中に現れてくる。左下の ×120 の写真にはこの B の層が 2 すじ見える。

B…ヨコに走る筋線維 A に直交する筋線維 B。

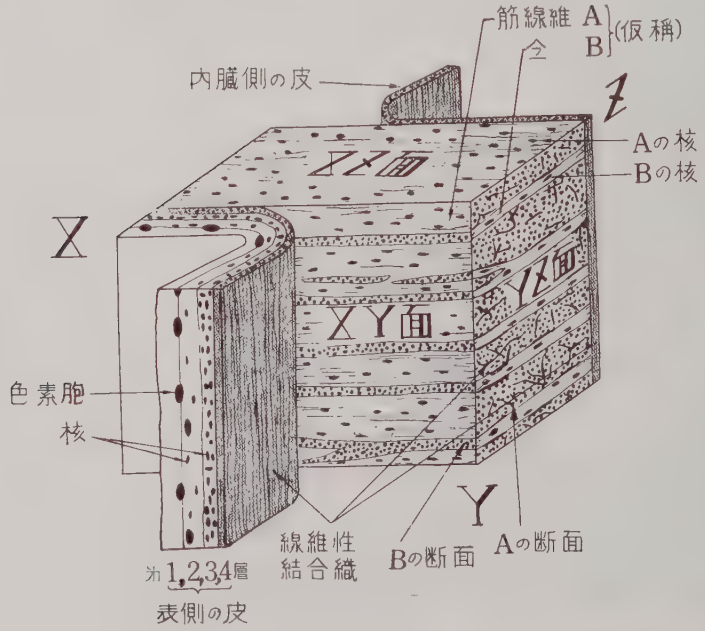
C…筋線維 A の先端，写真 B, C とも倍率は (1) A の½ の 600 であるが，いずれからも個々の筋線維 A, B は比較的細長い線維でありそれが密に並んで層を構成していることを知る。

(2)……4 層から成る表側の皮，写真左方の第 1～2 層の間に色素胞が 1 個見える，色素胞は第 2 層の内に分布していることもある（写真略），第 3 層は核に富む層，第 4 層は線維性の層である。下の写真は第 4 層と肉組織との接続を示す。

(3……内臓側の皮，及びそれを拡大して肉組織との接続を示したもの。これと(2)下の写真から，筋線維 B の層は内臓側と表側の各皮に対しほぼ直角に交わつていることが分る，即ち B 層は表側から内臓側へ真直ぐに走つている 〔下の模式図 (2) 参照〕。

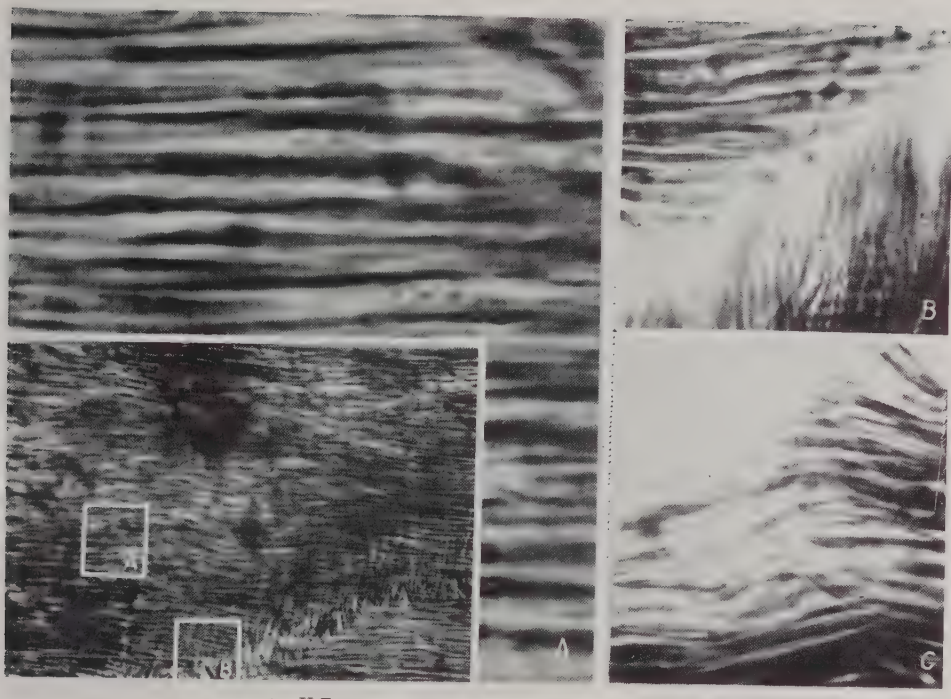


（1） 腹開きして皮をはいだ時の筋肉の走向（肉眼的観察）

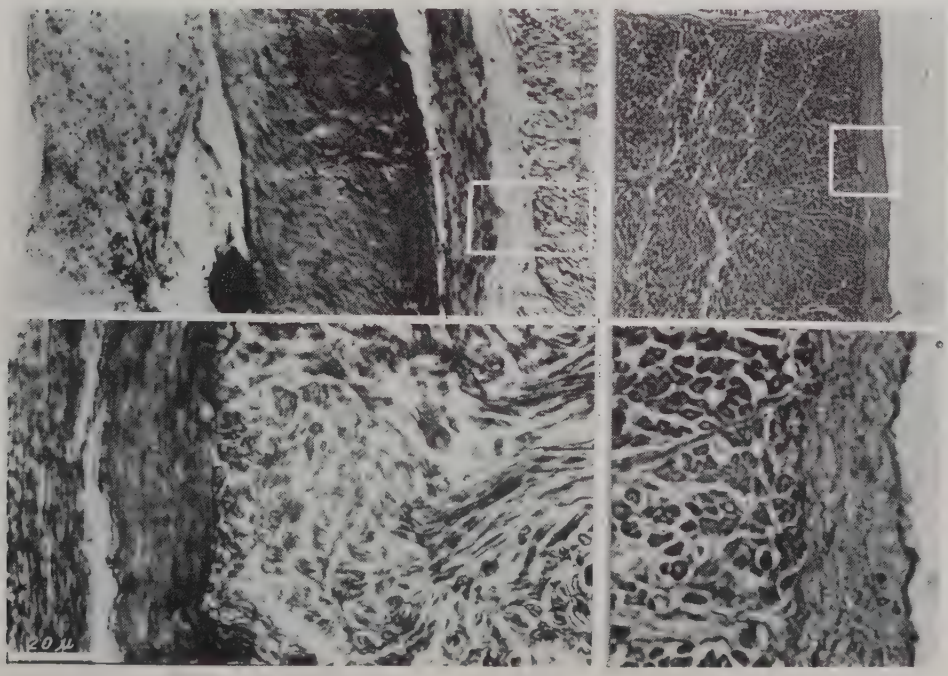


（2） 上図 (1) の X.Y.Z 部の拡大，皮を半ばつけて示す（顕微鏡観察）

Plate II



(1) XZ面　×120　×1200　×600



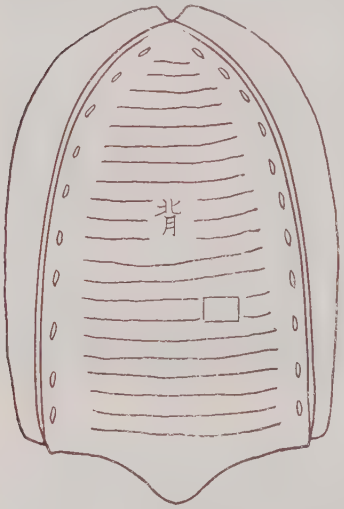
(2) YZ面　×120　×600

(3) YZ面　×120　×600

Plate III 〔胴部〕

材　　料：モンゴイカ *Sepiella maindroni* de Rochebrune 及び
コウイカ *Sepia esculenta* Hoyle
標本作製方法：Bouin 或いは Zenker の液固定，パラフィン包埋，Mayer の
hämatoxylin-eosin 染色或いは Mallory 染色

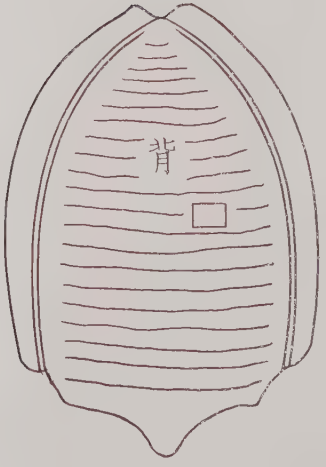
スルメイカの補足材料に用いたモンゴイカ，コウイカ，アオリイカ及びヤリイカの 4 種のイカはスルメイカと同様の胴部組織をもつている。



(1), (2)…モンゴイカ　*Sepiella maindroni*

(1)…筋線維 A の層とその間にはさまれた 1 本の筋線維 B の層の断面，ほぼタテに走る数多くの黒い線維は線維性結合織である。

(2)…A の断面とその間を走る 1 本の B の層。



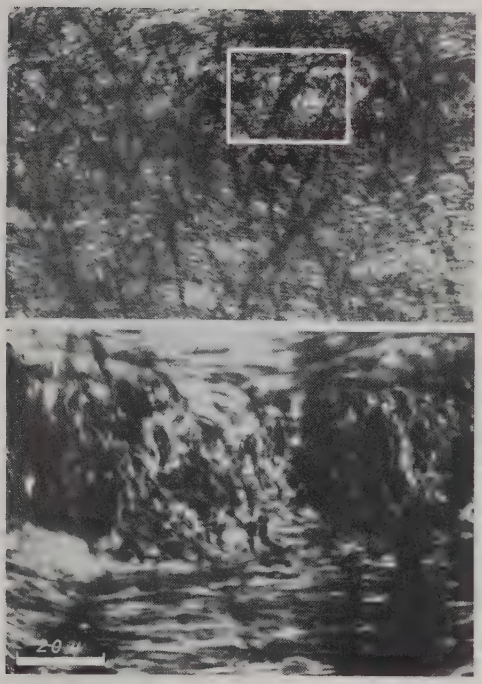
モンゴイカ（上図）とコウイカ（下図）の背の肉眼的観察及び顕微鏡標本用試料の採取個所（□印）

(3), (4)…コウイカ *Sepia esculenta*

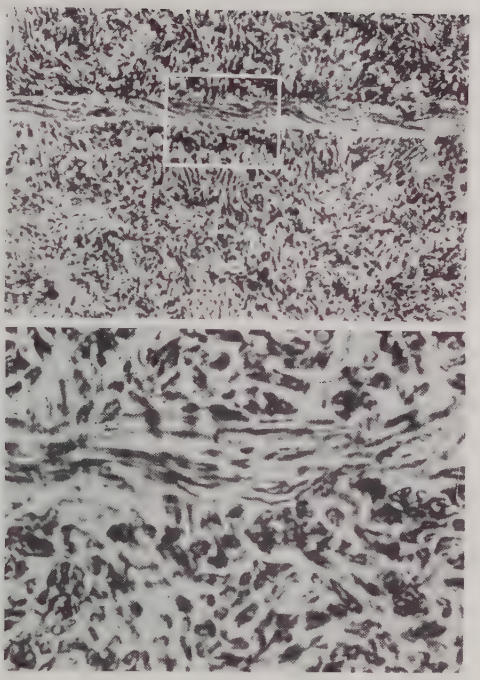
筋線維 A の層とその間を走る 1 本の筋線維 B の層，散在する線維性結合織は筋線維 A に沿つてほぼヨコに走る〔写真 (3)〕。

(4) 下の写真からは皮（写真左方）が線維 B の層と固く連結していることを知る。

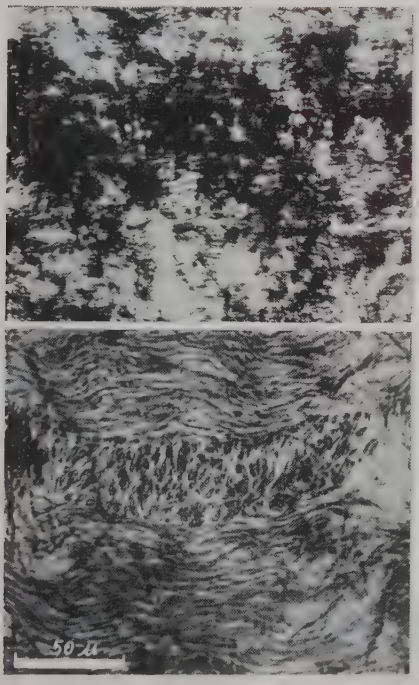
Plate III



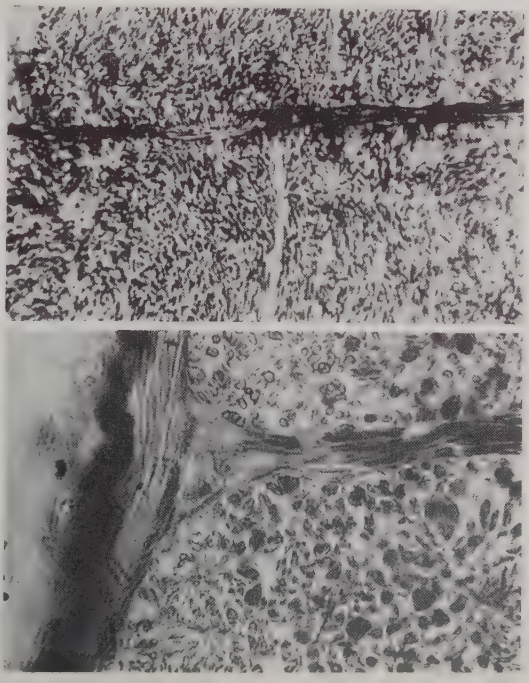
(1) XY面 ×150 ×600



(2) YZ面 ×150 ×600

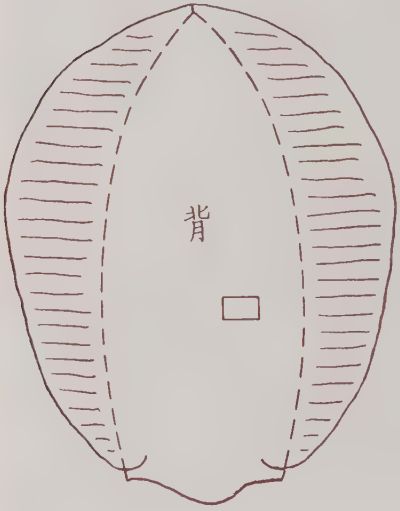


(3) XY面 ×150 ×300



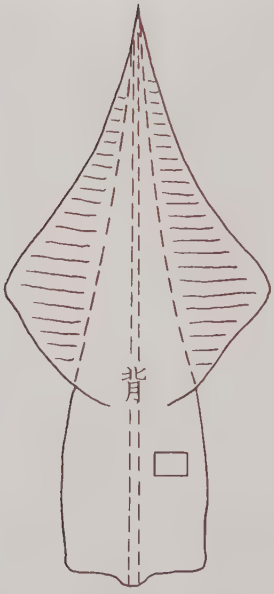
(4) YZ面 ×150 ×300

材　　料：アオリイカ *Sepioteuthis lessoniana* Férussac 及び
　　ヤリイカ *Doryteuthis bleekeri* Keferstein
標本作製方法：Plate III に同じ



(1), (2)…アオリイカ *Sepioteuthis lessoniana*

筋線維 A の層とその間にはさまれた 1 本の筋線維 B の層，線維間に豊富に見られる線維性結合織の多くは筋線維 A と平行してヨコに走る〔写真 (1)〕。
線維 B の層は強固にまたほぼ直角に皮と接続している〔写真 (2) 下〕。

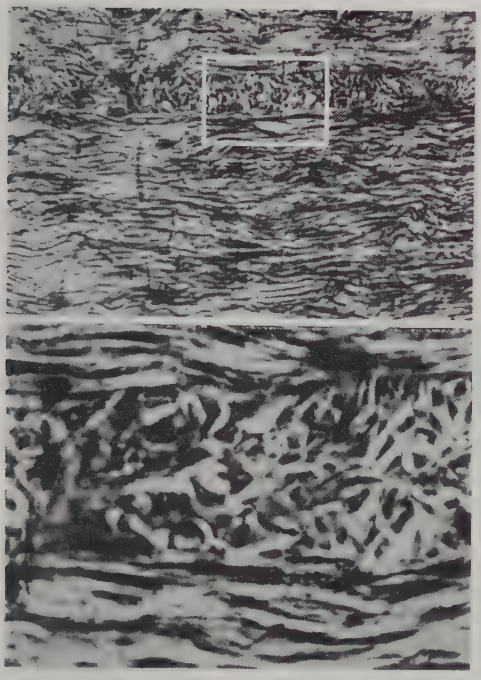


(3), (4)…ヤリイカ *Doryteuthis bleekeri*

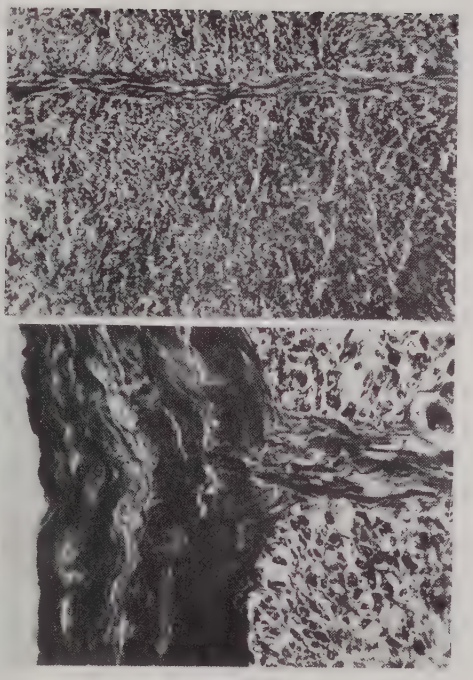
同様に筋線維 A の層と 1 本の筋線維 B の層，タテに或いは斜めに短く線維性結合織が走つている〔写真 (3)〕。
(3) 下の写真は筋線維 A の先端を示す。

アオリイカ（上図）とヤリイカ（下図）の背の肉眼的観察及び標本用試料の採取個所（□印）

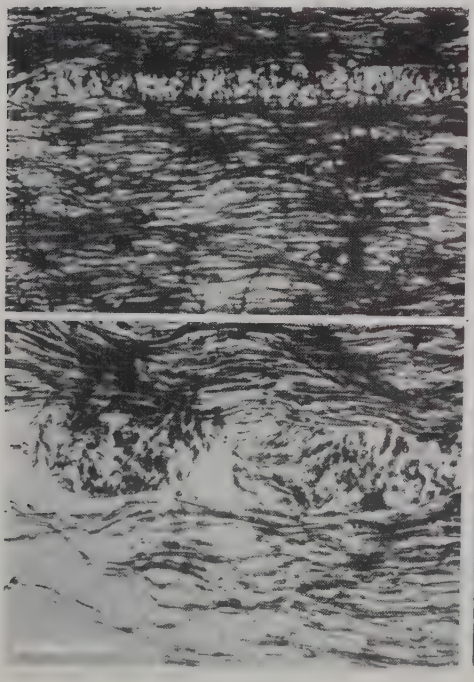
Plate IV



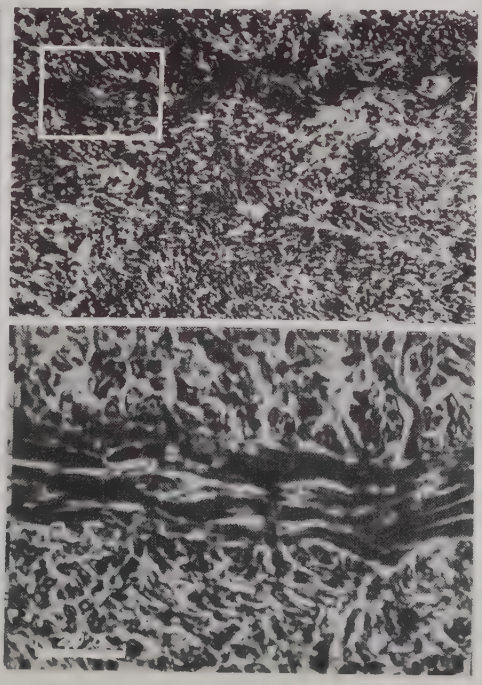
(1) X Y 面 ×150 ×600



(2) Y Z 面 ×150 ×300



(3) X Y 面 ×150 ×300



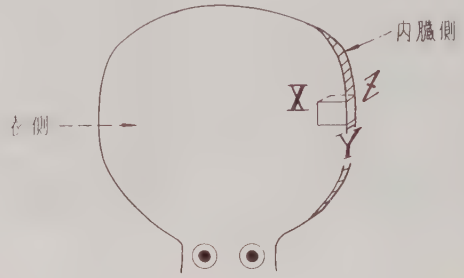
(4) Y Z 面 ×150 ×600

Plate V 〔胴部〕

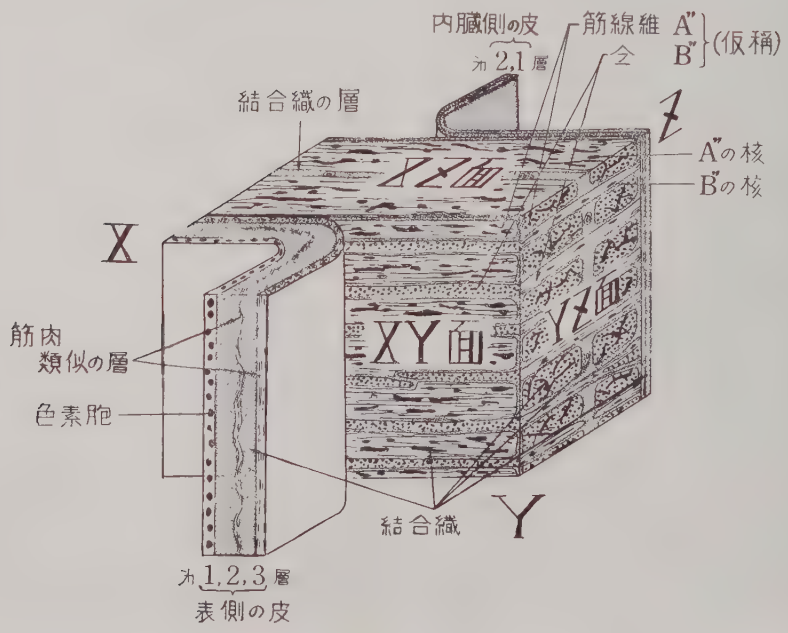
材　　料：マダコ *Octopus vulgaris* (Lamarck)
標本作製方法：Bouin の液固定，パラフィン包埋，Mayer の hämatoxylin•eosin 染色

スルメイカの比較材料として用いたマダコの胴部では，若干スルメイカの場合とは異る組織構造が観察される。

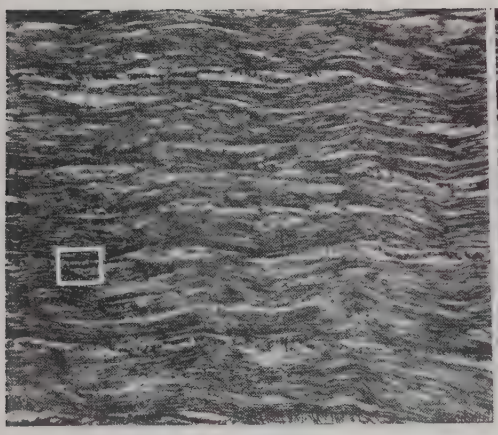
(1)…イカの筋線維 A，B に相当する筋線維 A″，B″ がイカの場合と同様の方向に配列している。
(2)…ただイカの組織と異る所は，うすい結合織の層によつて表側（写真左方）と内臓側（写真右方）に縦断されていることで，筋線維 B″ の層は表側から内臓側へ直走しているものが多いが，A″ の層（写真では断面）は明らかにこの結合織の層により分画されている〔600 倍の (2) A の写真及び下図 (2) 参照〕。
(3)…ヨコに走る A″ の層を表側（写真上方）と内臓側（同下方）に分画しているうすい結合織の層，(3)A は その部分の拡大（×600）。



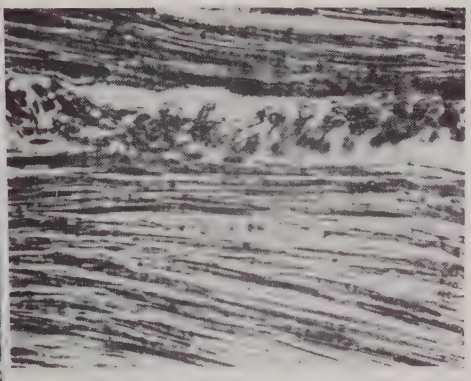
（1） 腹開きした時の筋肉の走向（肉眼的観察）



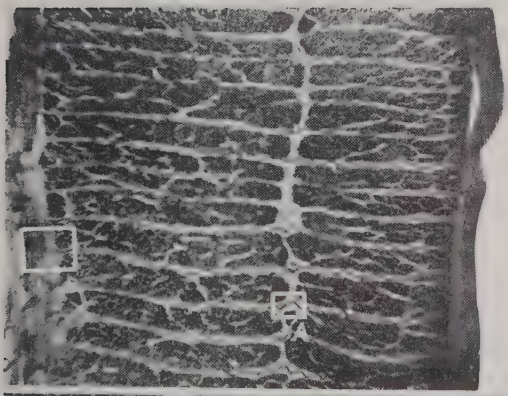
（2） 上図 (1) の X•Y•Z 部の拡大，皮を半ばつけてぶす（顕微鏡観察）

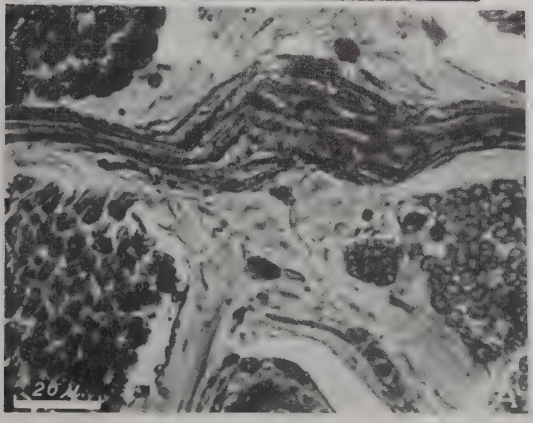


(1) X Y面 ×60

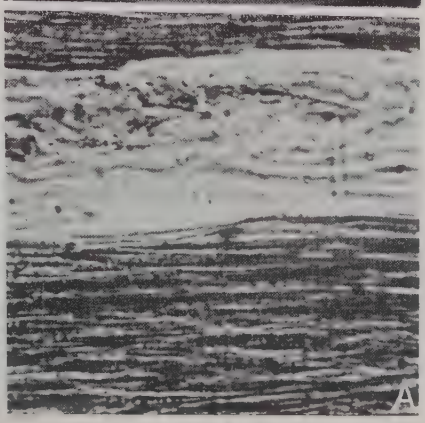


×600





(2) Y Z面 ×30 ×600



(3) X Z面 ×30 ×600

Plate VI 〔胴部〕

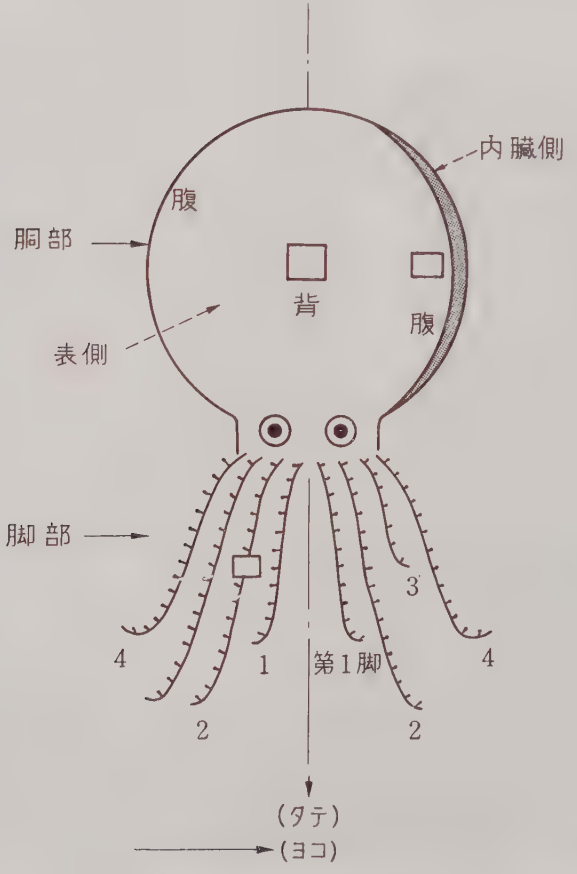
{材　　料：マダコ *Oct. vulgaris*
{標本作製方法：Plate V に同じ

(1)…次にイカの場合と異る所は，皮と肉組織との境界に見られる。即ちこの境界に写真左方にみるようなタテに走る太い筋肉層（これを筆者は表側の皮の第3層とした）が存在しており，その層内に筋線維 B″ が入りこんでいる。

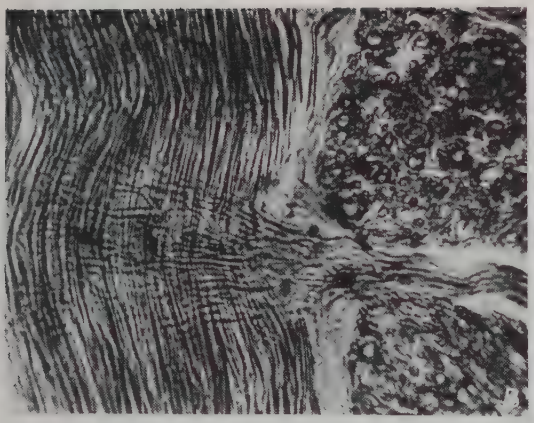
(2)…(1) を側面（XZ 面）からみたところ，皮の第3層とみなしたこの筋肉層（断面が出ている）は束ねられており，束と束との間に線維 B″ が入りこんでいる。写真下方のヨコに走るのは筋線維 A″。
〔(1), (2) とも Pl. V (2) (3) の B 部分を拡大したものである〕。

(3)…3 層から成る表側の皮，イカに比べて遙かに厚く，色素胞は表面近く第1層内に一列に並び〔(3) A〕，第2層の厚い結合織層は層内に筋肉類似の層〔(3) B〕を含んでいる。第3層は上の (1), (2) にみえた筋肉層である。

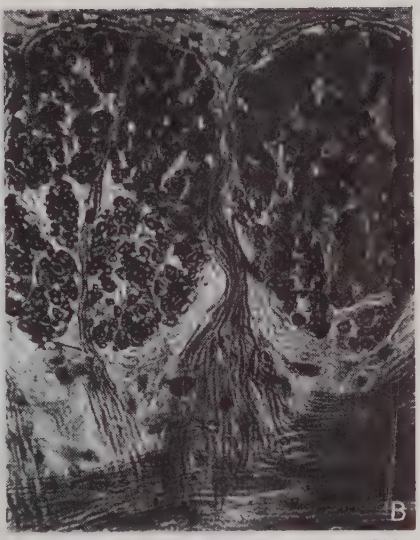
(4)…内臓側の皮，2層からなり，第1層（写真右端）は結合織層であり第 2 層は表側第3層と同様タテに走る筋肉層であるが，いずれの層も表側のものよりはうすい。



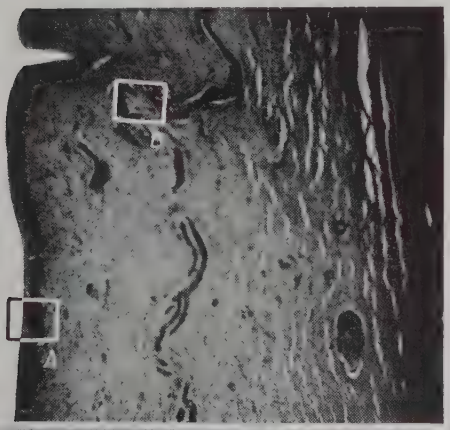
マダコ胴部を腹開きして，脚部と共に顕微鏡標本用試料の採取個所を示す

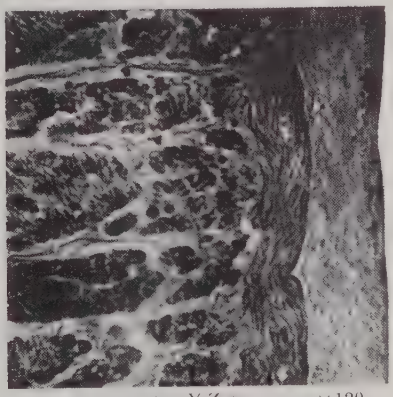


(1) Y Z 面 ×300

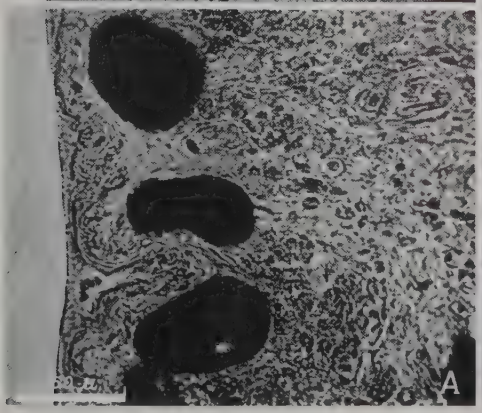


(2) X Z 面 ×300

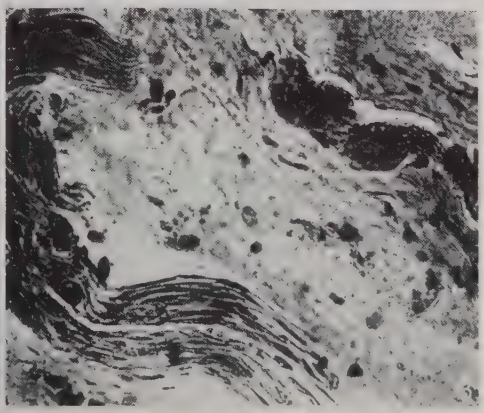




(4) Y Z 面 ×120



(3) Y Z 面 ×30 ×300



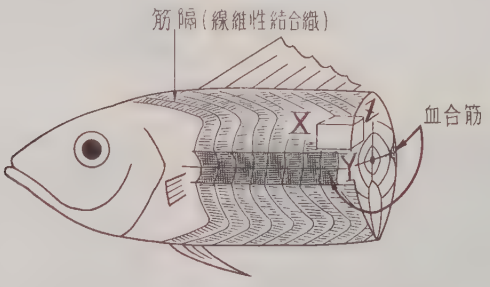
×300

材　　料：マアジ *Trachurus japonicus* (Temminck et Schlegel)
標本作製方法：Plate V に同じ

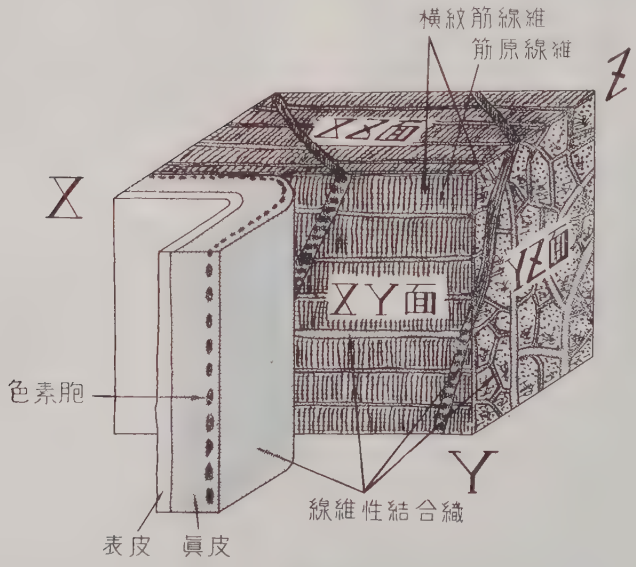
スルメイカと比較するために用いたマアジの体側筋は，組織形態上並びに筋細胞形態上著しくイカの胴部筋と相違している。

(1)…写真の左上に見える線維性結合織の筋隔で仕切られた間に太い筋線維が並列し，いずれも筋線維は，その長軸の直角方向に発達した横紋を持つ明瞭な横紋筋線維である。その横紋筋線維の全景をいれるため写真（×1200）では特に細い筋線維を選んだが実際にはこの 2 倍位の太さのものが多い。

(2)…横紋筋線維の断面，面上にひだがあり，周辺に細かいしま—Bühn* によればこれは筋原線維 (myofibril) —がみえる。イカの筋線維の 10～30 倍の太さで多角形をなし，線維間には個々の筋線維を束ねて筋隔に連結している線維性結合織が存在する。低倍率（×120）の写真の左方に見えるのが線維性結合織の筋隔でこれは[illegible]している。



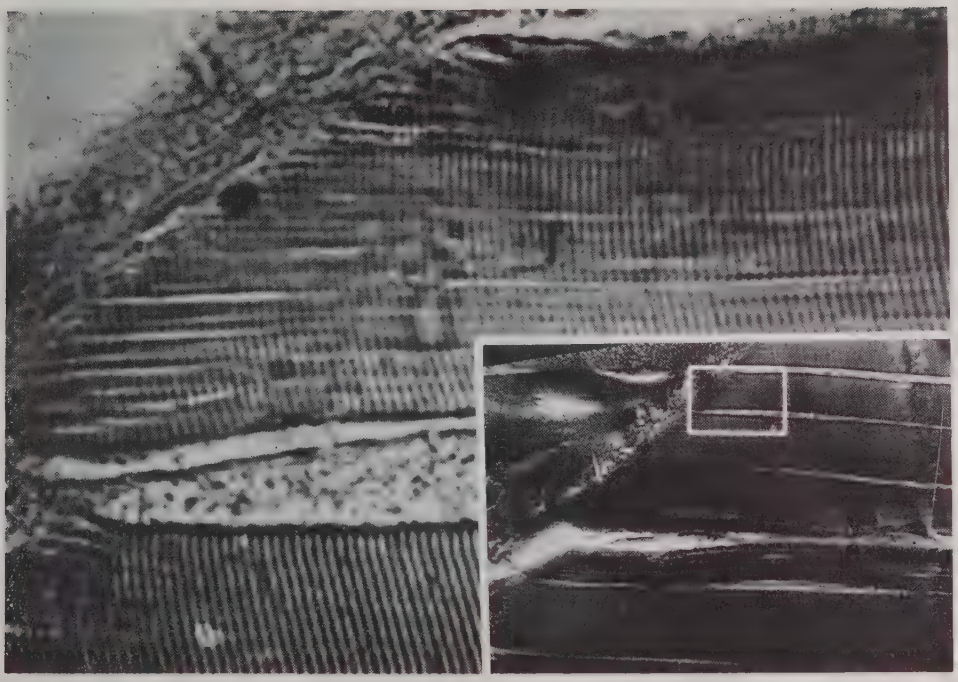
（1） 皮をはいだ時の筋肉の走向（肉眼的観察）



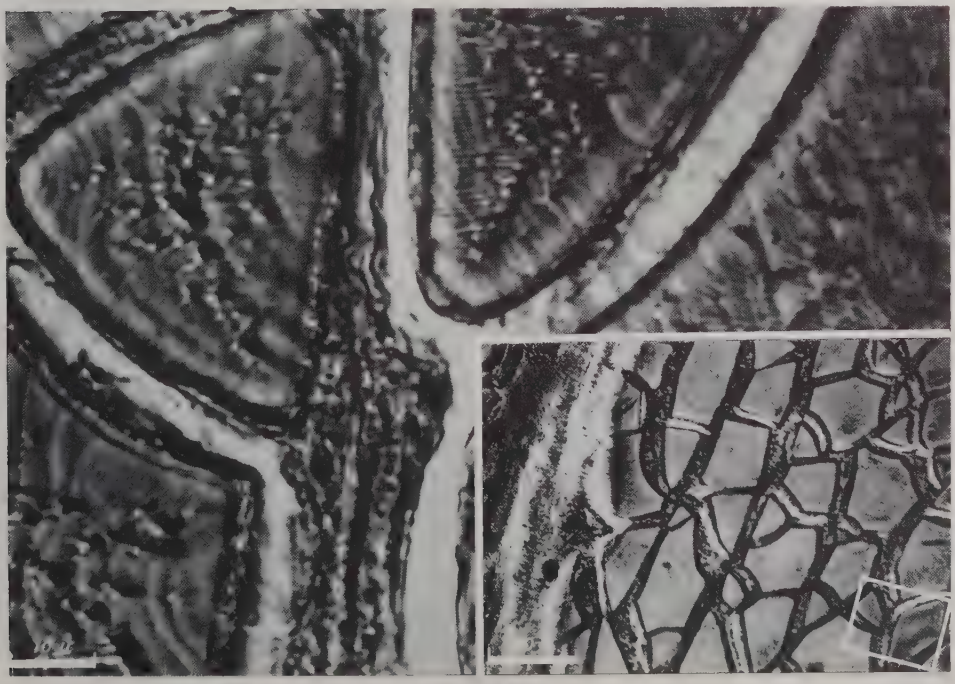
（2） 上図 (1) のX・Y・Z 部の拡大，皮をつけて示す（顕微鏡観察）

* Hamoir, G.: "Adv. in Protein Chem.," Vol. X, Academic Press Inc., New York, pp. 229～231 (1955) より

Plate VII



(1) XY面 ×1200 ×120



(2) YZ面 ×1200 ×120

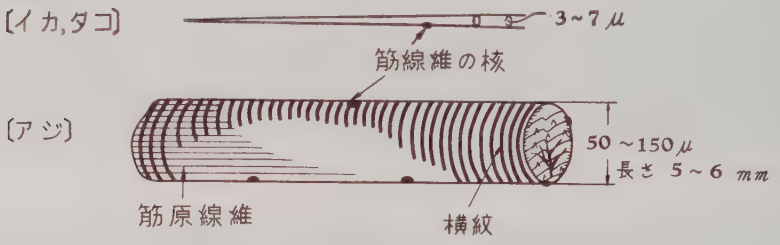
Plate VIII 〔胴部〕

材　　料：マアジ *Trachurus japonicus*
標本作製方法：Plate V に同じ

(1)…結合織の筋隔（写真左下）から離れかかつている横紋筋線維，その筋線維は更に細い筋原線維から構成されていることがこの写真からよく分る。イカの筋線維はそれ自身細いためにそれを構成している筋原線維をこのように捕えることは難しい。

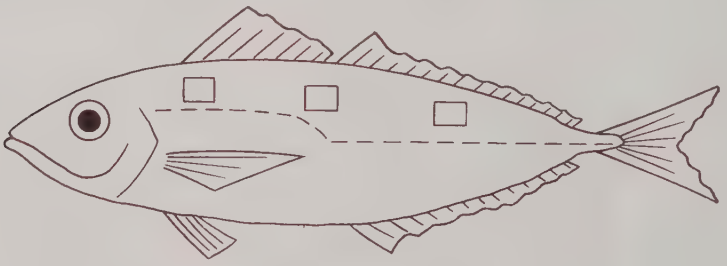
(2)…又アジの体側筋にはイカと異り（表面）血合筋が存在する。写真上の左方の細い筋肉がそれで，その部分を拡大〔写真下〕してみると，やはり横紋筋であり，筋線維間には結合織が分布している。

(3)…（表面）血合筋の断面，その筋線維の太さは (1) にみる横紋筋線維の $1/3$～$1/7$ 位で細く，断面は類円形をしている。

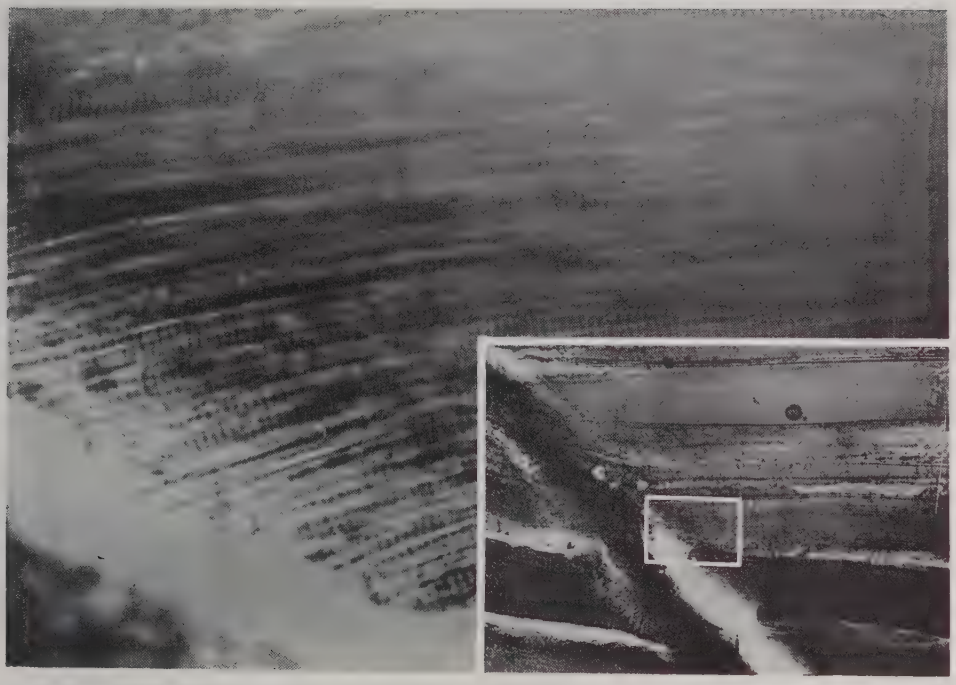


第 1 図　イカ，タコとアジの筋線維の比較

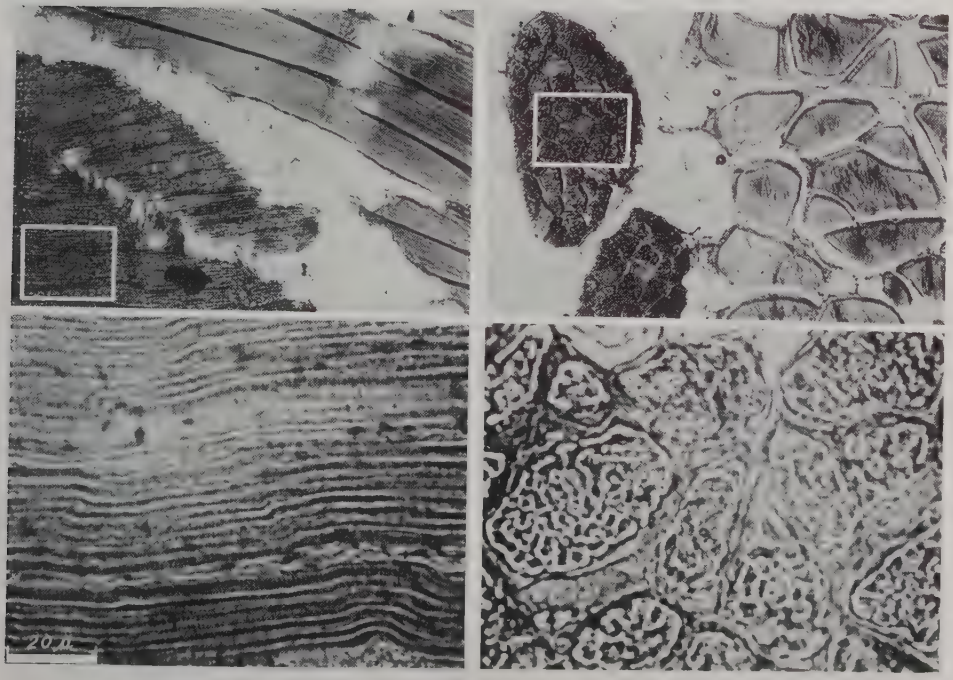
同じ一個の筋細胞（筋線維）でありながら太さが全く異る。アジの横紋筋線維に対し，イカ，タコの筋線維は，紋が見えず形態上平滑筋線維に類似している（本文 86 頁参照）



第 2 図　顕微鏡標本用試料の採取個所を示す



(1) X Z 面 ×1200 ×120



(2) X Z 面 ×120 ×600

(3) Y Z 面 ×120 ×600

Plate IX 〔鰭部〕

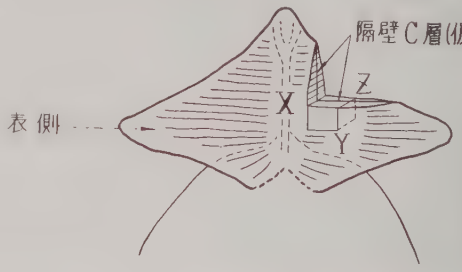
材　　料：スルメイカ *Omm. sloani pacificus*
標本作製方法：Bouin 或いは Zenker の液固定，パラフィン包埋，Mayer の hämatoxylin·eosin 染色或いは Mallory 染色

イカの胴部に比べて鰭部は，同様の筋線維配列を示すが，Pl. IX，X にみるように構造上3つの相違点をもつている。

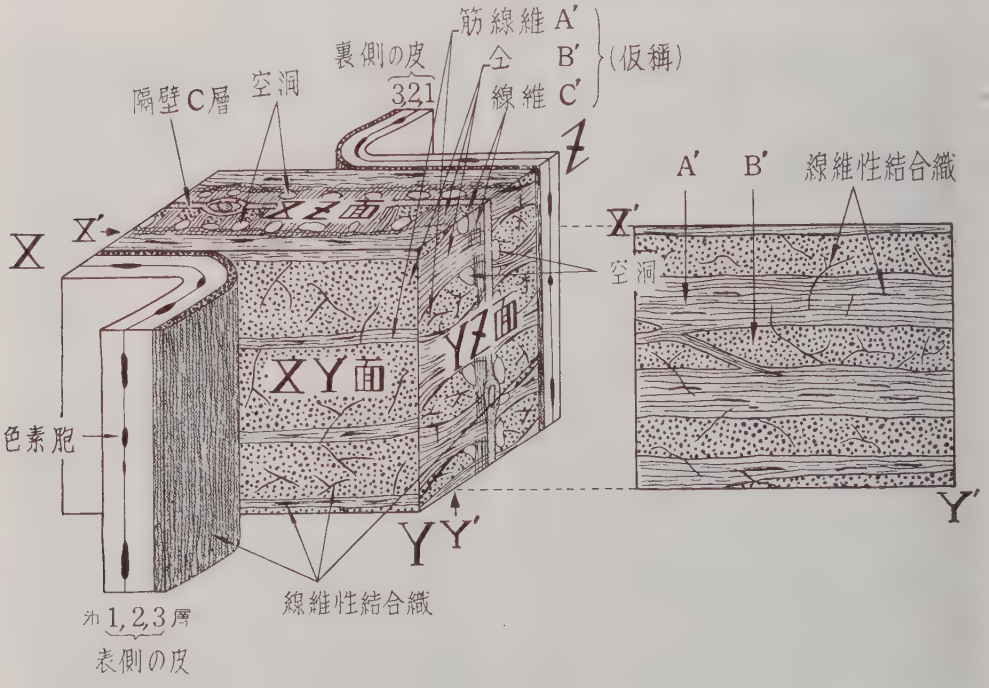
(1)…表側の皮直下の標本（XY面）はなかなか得にくいので，皮から約1mm下の標本〔X′Y′面—下図(2)参照〕を写真で示す。胴部の筋線維 B の層に比べそれに相当する筋線維 B′ の層（写真上半分の断面）が甚だ厚くなつているが，この点が胴部との第1の相違点である。筋線維 B′ の間に見られる線維性結合織のうちには筋線維 A′ の層内に入りこんでいるものもある（↙印個所）。倍率は胴肉の場合（×1200）の½であることに注意。

(2)…(1)の写真の側面で，筋線維 A′ の断面と B′ の走りが見える。低倍率（×10）の写真にみるように，タテに通る隔壁 C 層によつて鰭部がほぼ表裏対称に分けられているのが第2の相違点である（写真左方が表側，右方が裏側）

(3)…筋線維 A′ の走り，写真上方にはそれに直交する筋線維 B′ も見える。低倍率（×10）の写真では，(2)の写真と同じく隔壁 C 層で表裏に2分されている状態がうかがえる（写真上方が表側，下方が裏側）。

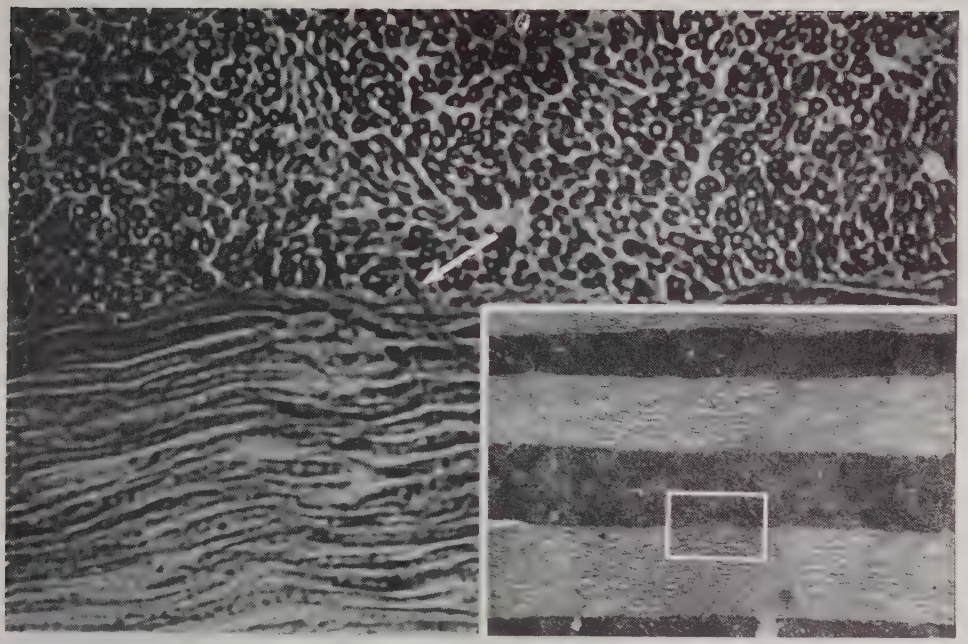


（1）　皮をはいだ時の筋肉の走向（肉眼的観察）

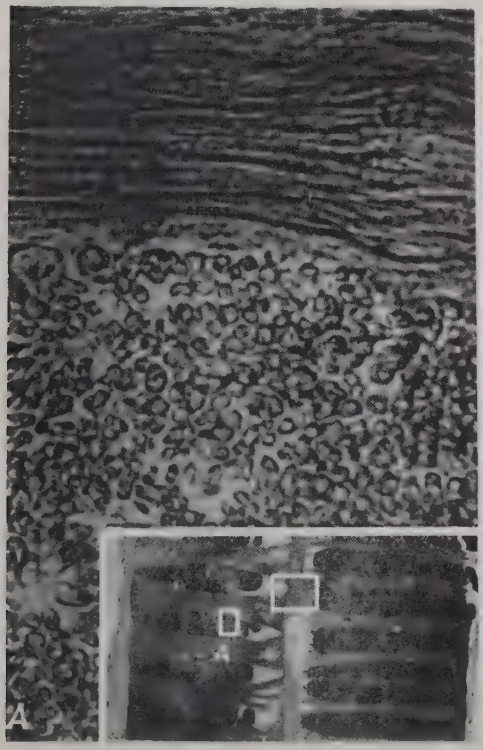


（2）　上図(1)の X.Y.Z 部の拡大，皮をつけて示す。右図は表側の皮から約1mm下の肉面（X′Y′面）の組織構造，左図の XY 面と比べて，筋線維 A′ の層が巾広く反対に筋線維 B′ の層がせまくなつている（顕微鏡観察）

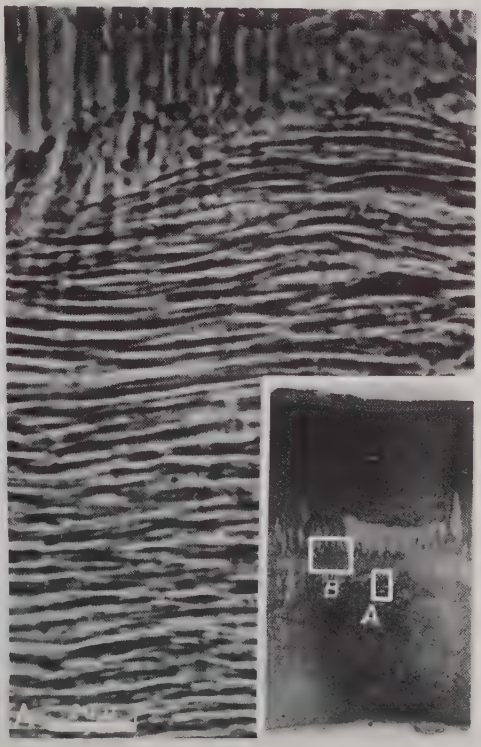
Plate IX



(1) X′Y′面　　×600　　×60



(2) YZ面　　×600　　×10



(3) XZ面　　×600　　×10

Plate X 〔鰭部〕

材　　料：スルメイカ *Omm. sloani pacificus*
標本作製方法：Plate IX に同じ

(1)…上の写真は前 Pl. IX (2) の低倍率写真の左半分即ち隔壁 C 層（写真の右端タテに走る）から表側の部分をポしたもので，これから，筋線維 B′ の層が筋線維 A′ の層（断面となつて現れている）をサンドイッチ型にはさんでおり，また C 層の両側には空洞のある状態が概観される。

C 層と空洞の一部を拡大した (1) B では，C 層に沿つてタテに走る更に別の線維 C′ の存在が確認される。この C′ の存在が胴部との第3の相違点である。

(1) A の写真は既に Pl. IX (2) にポしてある。

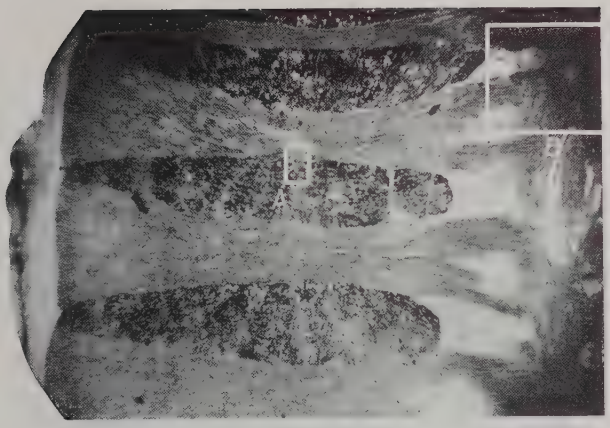
(2)…上の写真は Pl. IX (3) の低倍率写真の下半分即ち隔壁 C 層（写真の上端ヨコに走る）から裏側の部分をポしたもので，ここにも写真 A′ が現われる。筋線維 B′ の層は，左の写真 (1) にみるように C 層から表裏の各皮まで続いているが途中で細くくびれているため，この XZ 面の写真では C 層周辺にその一部が現われているのみである。B′ 層が A′ 層にかくれて見えなくなる部分（写真の A 部分）は既に Pl. IX (2) に示してある。C 層周辺を拡大した (2) B では，C 層から直角に走る筋線維 B′ の層と層とにはさまれた上記の線維 C′ の断面が現れている〔前 Pl. の模式図 (2) 参照〕。

(3)…表側の皮，3ないし4層の皮から成り，第1～2層の皮の間に2個の色素胞が見える。皮の下に走つている太い線維層は B′ の層。

(4)…裏側の皮，3層から成り，いずれも表側の皮に比べて薄く，第1～2層の間に散在する色素胞も概して扁平で小さい。

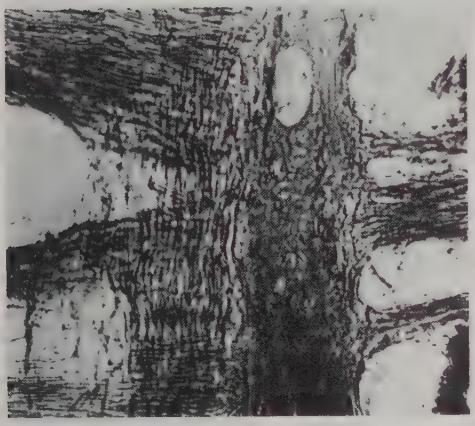
以上の Pl. IX, X で観察した試料は Pl. I の模式図に示す鰭部個所から採取したものである。

Plate X



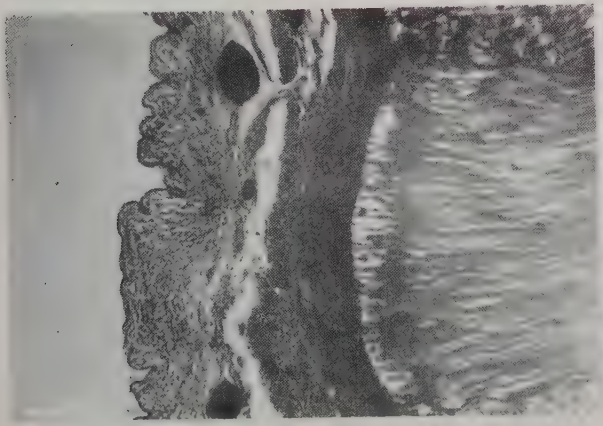
(1) YZ面 ×30

(2) XZ面 ×30

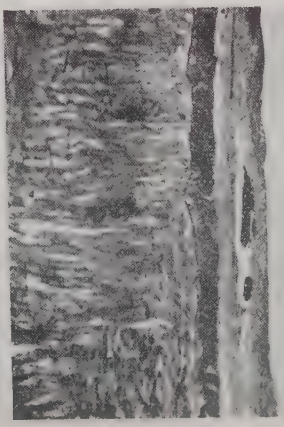


(1) B ×120

(2) B ×120



(3) YZ面 ×120

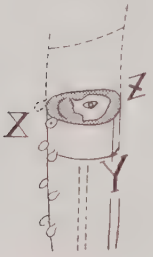


(4) XZ面 ×120

Plate XI 〔脚部〕

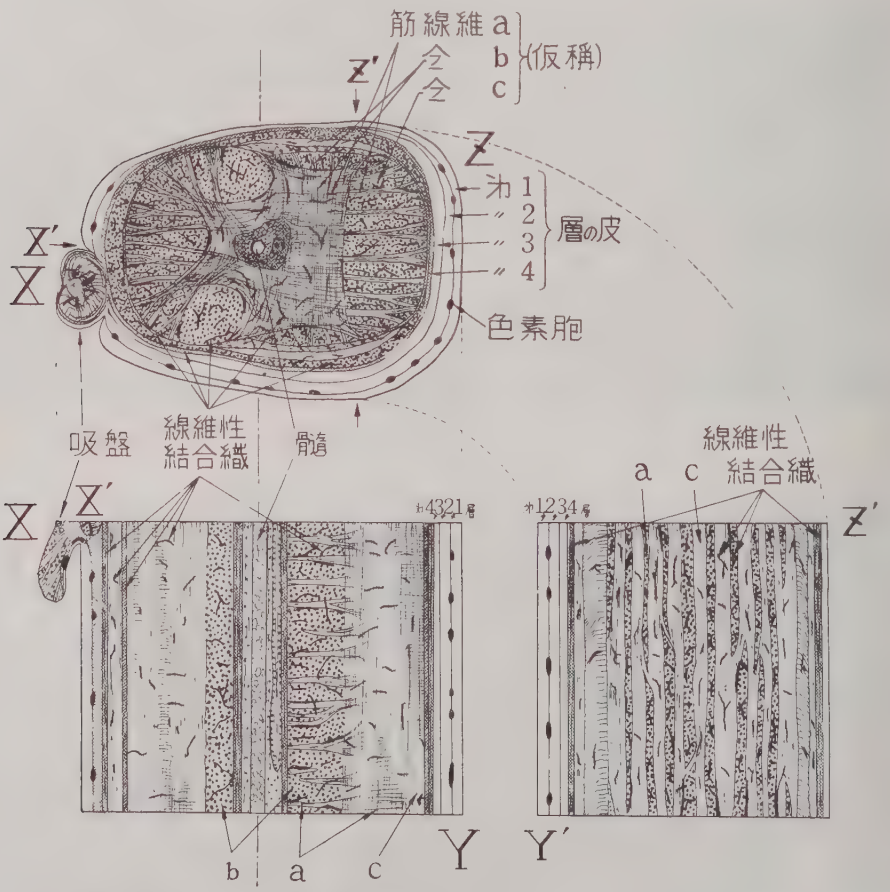
材　　料：スルメイカ *Omm. sloani pacificus*，第2脚
標本作製方法：Bouin 或いは Zenker の液固定，パラフィン包埋，Mayer の hämatoxylin-eosin 染色或いは Mallory 染色

イカの第2脚は，既に観察した胴部及び鰭部とはまた違つた甚だ複雑な組織をむしている。



（1） 吸盤と共に輪切りにした時の肉眼的観察

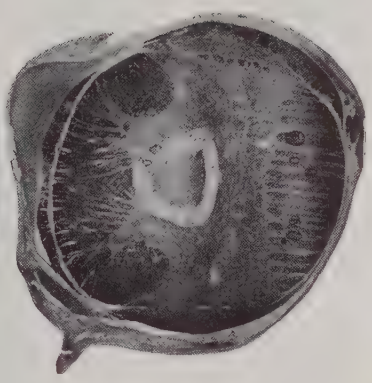
(1)……第2脚の上部（付根から2cm 下の部分）。
(2)……第2脚の中部(付根から5cm 下の部分)，脚の上部と組織構造は同じ。
(1)A…ヨコに走る筋線維 a に直交する筋線維 b。
(1)B…脚の周辺へのびている筋線維 a の層は更に別の筋線維 c（写真では断面）の層でサンドイッチ型にはさまれる。
(1)C…筋線維 b の層も，脚周辺で分岐し c の層（断面）でサンドイッチ型にはさまれる。この場合にはc の層にはさまれたa の層もみえる。
(1)D…第1，2層の境界及び第4層が余り明瞭でないが4層から成る皮の部分，上の写真(1)ではこの部分の皮がはがれているが，実際にはこのように4層の皮がついている。



（2） 上図(1)の X. Y. Z 部の顕微鏡観察，下左図は上図の X′ から髄を通る直線で脚を縦断した時の面(X′Y 面）を示し，下右図はその縦断面に直角のもう一つの縦断面（Y′Z′ 面）を示す

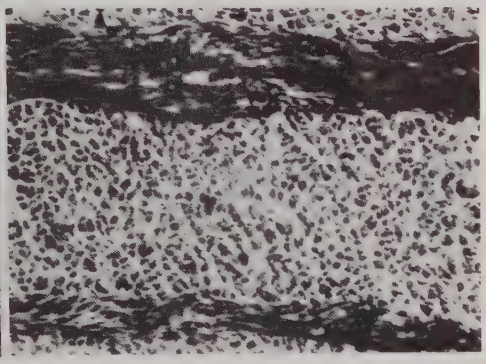
Plate XI

(1) XZ面 ×10



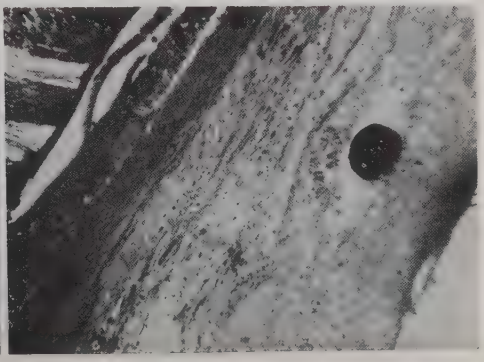
(2) XZ面 ×10

(1) A ×300



(1) B ×300

(1) C ×120



(1) D ×120

Plate XII 〔脚部〕

材　　料：スルメイカ *Omm. sloani pacificus*, 第2脚
標本作製方法：Plate XI に同じ

(1)……第2脚の上部（付根から 2 cm 下の部分）で前 Pl. XI (1)を側面からみたところ〔模式図(2)の下左図参照〕。

(2)……第2脚の上部（付根から 5 cm 下の部分），脚の上部と組織構造は同じ。

(1) A……タテに走る筋線維 c と脚周辺へとヨコに走る筋線維 a（写真左下），右方に断面の見えるのは筋線維 b である。

(1) B……筋線維 a と b は，前 Pl. (1) A では唯単に互いに直交しているように観察されたが，その側面のこの写真からみてみると，互いに層と層とで直交している，つまり髄から周辺へ向つて走る線維 a の層は線維 b の層（写真の断面）によつてサンドイッチ型にはさまれていることが分る。そして a の層は線維 c の層（写真右方，タテに走る）内に入りこんでいる。

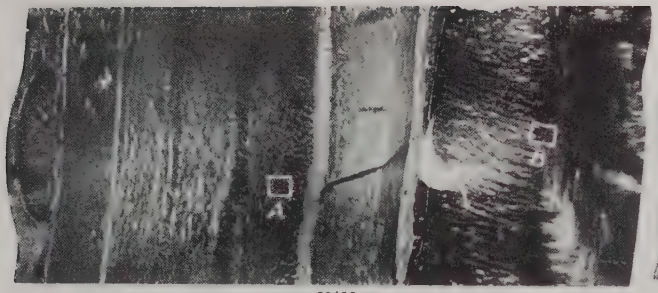
(3), (3)A…線維 c の層内に入りこんだ線維 a の層は，ここでまた c の層（写真のタテに走つている層）によつてサンドイッチ型にはさまれる〔模式図(2)の下右図参照〕。

以上観察したように3方向に走る筋線維 a, b, c が複雑に然し非常に巧妙に配列して脚肉を強固に組立てていることは一驚に値する。この肉組織の外側に更に薄い線維性の結合織と所によつて筋肉層とが存在し，その外側を4層の皮から成る皮組織が覆つている。

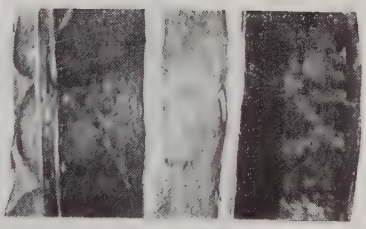
(4)……皮膚

(5)……髄

Plate XII

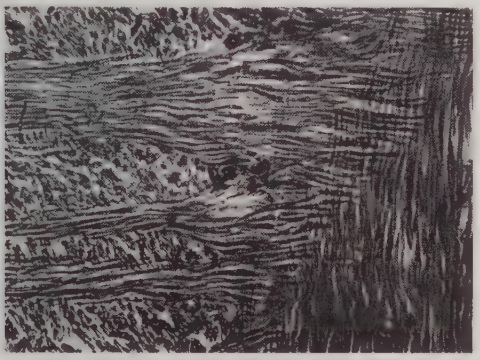


(1) X′Y 面 ×10

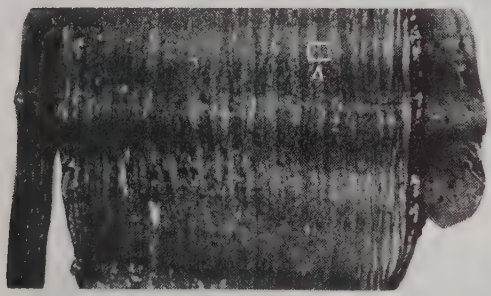


(2) X′Y 面 ×10

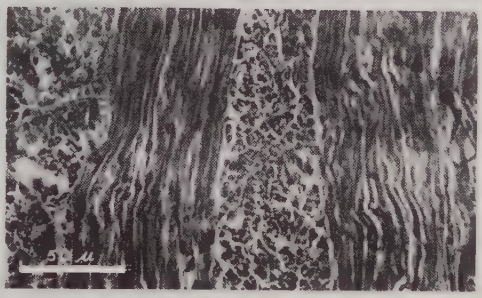
(1) A ×300



(1) B ×300

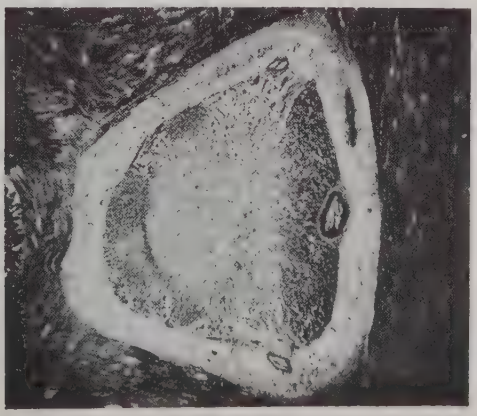


(3) Y′Z′面 ×10



(3) A ×300

(4) XZ面 ×30



(5) XZ 面 ×30

Plate XIII 〔脚部〕

材　　料：スルメイカ *Omm. sloani pacificus*, 触脚及び第3脚
標本作製方法：Plate XI に同じ

イカの第1脚の上部は既に観察した第2脚と大差ない組織構造を有しているが，ここに掲げた触脚と第3脚（いずれも付根から2cm 下の脚上部）は若干第2脚とは異る構造をもつている。

(1), (2)…触脚

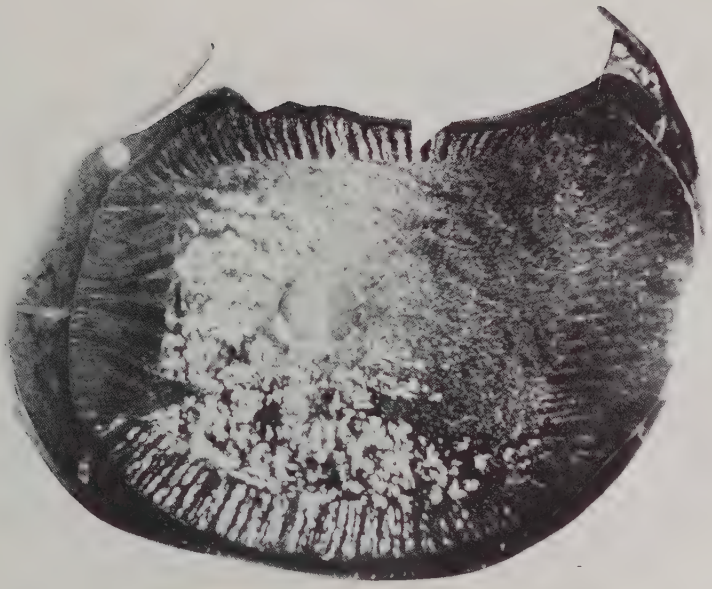
肉組織内へのパラフィンの誘導が不充分だつたためよい標本を得ることができなかつたが，大体の組織構造を知ることはできる。a, b, c 3線維の配列の状態は第2脚と同様であるが，第2脚と異る点は，写真(1)に見るように脚周辺に形成する筋線維 a, c のサンドイッチ型組織が一様に整然と並んでいること，写真(1), (2)にみる如く髄の周囲の筋線維 a, b の織りなす分野が若干広いことの2点であろう。そのほかに，脚の断面は卵形をしており，また脚の上，中部では吸盤を欠いているのがこの脚の特色である。

(3)…… 第3脚

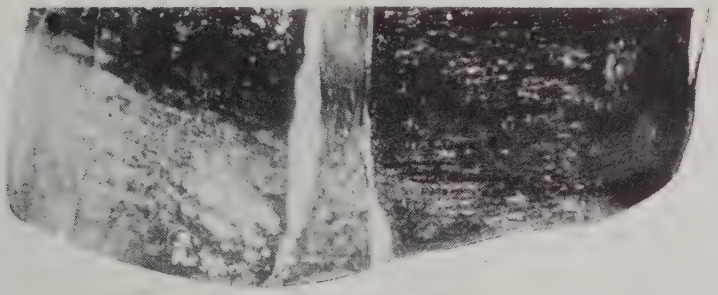
一見して分るように，肉組織の構造は第2脚と変らないが，脚の内面（写真左方）と外面（同右方）にある皮組織が著しく変形している点が第2脚との相違点である。

以上の Pl. XI～XIII で観察した試料の採取個所は Pl. I の模式図に示してある。

Plate XIII



(1) XZ面 ×10



(2) X′Y面 ×10

(3) XZ面 ×10

Plate XIV 〔脚部〕

材　　料：マダコ *Oct. vulgaris*, 第2脚
標本作製方法：Plate XI に同じ

スルメイカ第2脚と比較するために観察したマダコ第2脚（付根から 17 cm 下の脚中部）は，また多少イカとは異る組織構造をボしている。

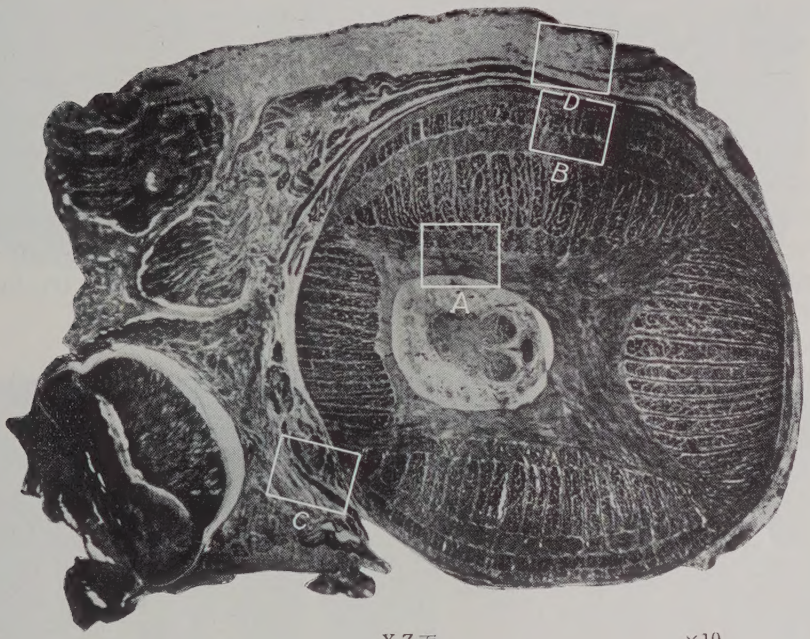
その異つている部分を特にボすと

A, B……[illegible] b, c に相当する層が b′, c′ とされた仮称の形成するリング型組織がイカよりも若干広範囲に及んでおり，その組織内に更に筋線維 a′（仮称）の層が入りこんでいる[illegible]その a′ の層は薄いごく〔写真 A〕と[illegible]近く〔写真 B〕とに見られ，その層内を b′ がまた通つている。

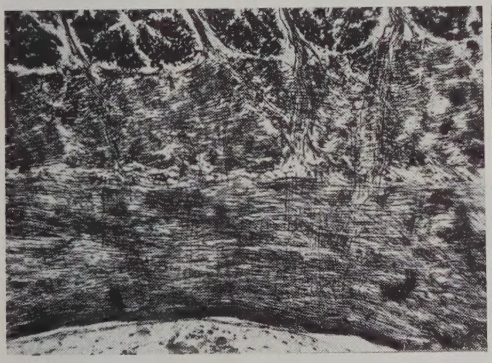
C……肉組織と吸盤との間には，筋肉類似の層が数多くみられる。

D……皮組織は胴部の場合と同様で，著しく厚く，その表面近くに一列の色素胞が並び，第2層内に筋肉類似の層（写真下端）を含んでいる。

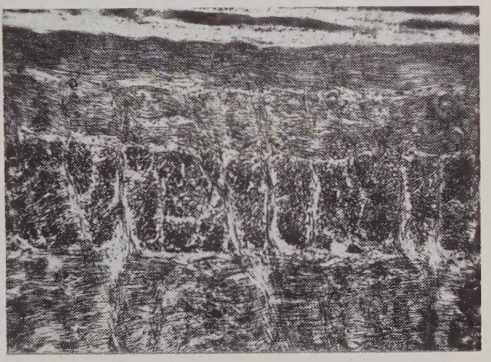
Plate XIV



X Z 面 ×10

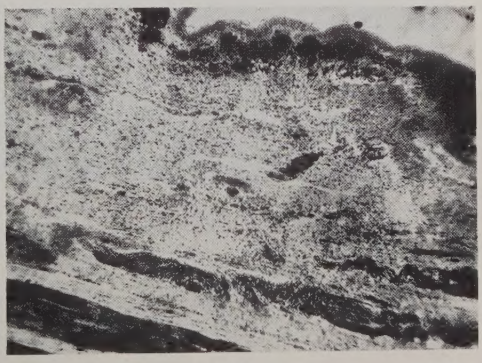


A ×60



B ×60

C ×60



D ×60

Plate XV 〔脚部〕

材　　料：マダコ *Oct. vulgaris*, 第2脚
標本作製方法：Plate XI に同じ

(1)……イカの場合の X′Y 面に相当する縦断面で，標本用試料の太さはイカと大差ないのにイカよりも太い髄と厚い皮組織が観察される。肉組織において，前 Pl. の A，B にみられた相違点を除いて筋線維の配列はこの X′Y 面にみられるようにイカ肉線維の配列と大して違わない。即ち

(1)A… 筋線維 b′（写真左方の断面）の層にはさまれた筋線維 a′ の層はタテに走る筋線維 c′ の層（写真右方）内に入りこんでいる〔Pl. XII (1) B のイカの場合と比較〕。

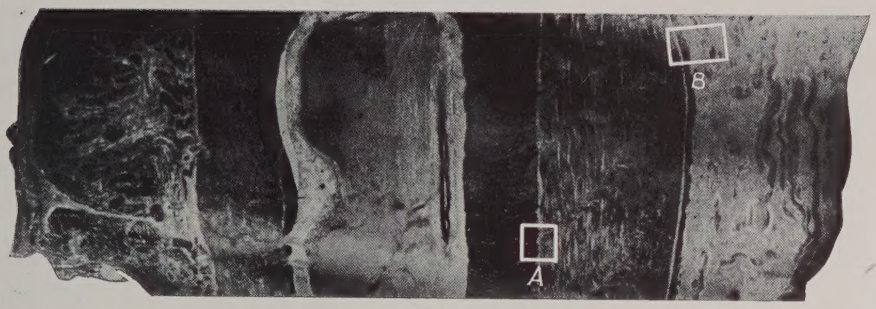
(1)B… 筋線維 c′ の層（写真左方）と皮組織，その間にはさまれた筋線維 b′ の層の断面〔Pl. XI の模式図(2)の下左図と比較〕。

(2)……吸盤

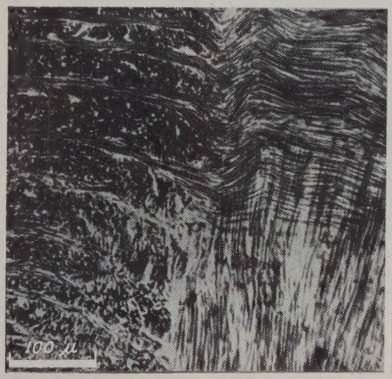
(3)……髄

以上 Pl. XIV，XV に観察した試料の採取個所は Pl. VI の模式図に示してある。

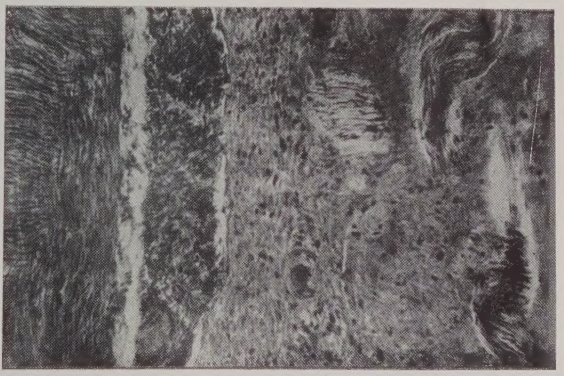
Plate XV



(1) X′Y面 ×10

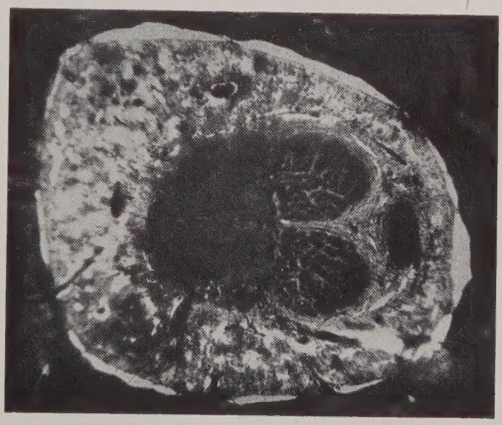


(1) A ×120



(1) B ×120

(2) XZ面 ×20



(3) XZ面 ×30